Iranian Journal of Field Crops Research
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

Research Article
Vol. 21, No. 3, Fall 2023, p. 363-383

Study the Response of Physiological Traits and Grain Yield to Integrated Use of Chemical Nitrogen Fertilizer with Sugarcane Residue Compost in Heat Stress Conditions

M. Makvandi[1], A. M. Bakhshandeh[2], A. Moshatati[3*], M. R. Moradi Telavat[4], A. Khodaei Joghan[3]

Received: 21 March 2023 Revised: 20 May 2023 Accepted: 24 May 2023	**How to cite this article:** Makvandi, M., Bakhshandeh, A., Moshatati, A., Moradi Telavat, M. R., & Khodaei Joghan, A. (2023). Study the Response of Physiological Traits and Grain Yield to Integrated Use of Chemical Nitrogen Fertilizer with Sugarcane Residue Compost in Heat Stress Conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research, 21*(3), 363-383. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jcesc.2023.81634.1236

Introduction

In the pursuit of a resilient and progressive agricultural system, the incorporation of diverse fertilizers is deemed essential. This practice not only enhances product quality but also aids in cost reduction. However, over-reliance on a specific type of input can inadvertently lead to unintended repercussions. The unrestricted utilization of chemical fertilizers, for instance, can precipitate adverse outcomes such as imbalanced pH levels, the accumulation of heavy elements, soil structure deterioration, and environmental contamination. Conversely, organic fertilizers, while environmentally friendly, often release nutrients at a slower rate, potentially disrupting optimal plant growth. To attain a balanced and sustainable agricultural approach, the combined application of organic and chemical fertilizers is advocated. Moreover, harnessing the biological potential inherent in soil ecosystems, including beneficial microbial communities encompassing bacteria and fungi, emerges as a promising avenue in cultivating sustainable agriculture. Acknowledging the adverse impact of late-season heat stress on wheat production in Khuzestan and recognizing the significance of reducing chemical fertilizer usage while augmenting organic and biological fertilizers to foster ecological health, this experiment undertakes the exploration of the effects of a synergistic approach. Specifically, it delves into the combined utilization of nitrogen and compost fertilizers, complemented by the incorporation of plant growth-promoting rhizobacteria. This endeavor aims to shed light on how this combined strategy operates within the context of terminal heat stress, assessing its influence on the physiological attributes and yield of the wheat cultivar Chamran 2.

Materials and Methods

This experiment was carried out as split-split plots based on a randomized complete block design with three replications in the crop year of 2021-2022 in the research farm of Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan. The experimental factors include three planting dates: December 1st, December 20th, and December 10th in the main plots; Six levels of combined use of nitrogen fertilizer with compost fertilizer include control (without nitrogen and organic), 100% nitrogen, 75% nitrogen+ 25% compost, 50% nitrogen+ 50% compost, 25% nitrogen+ 75% compost and 100% compost in sub-plots and two levels of application and non-application of plant growth promoting rhizobacteria in sub-plots. Each sub-plot was 3 meters long and 2 meters wide (with an area of 6 square meters) and included 10 crop lines at a distance of 20 cm from each other.

1- Ph.D. student of Agrotechnology, Plant Production and Genetics Department, Agriculture Faculty, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran
2- Professor, Plant Production and Genetics Department, Agriculture Faculty, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran
3- Assistant Professor, Plant Production and Genetics Department, Agriculture Faculty, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran
4- Associate Professor, Plant Production and Genetics Department, Agriculture Faculty, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran
(*- Corresponding Author Email: A.moshatati@asnrukh.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jcesc.2023.81634.1236

The distance between the main and secondary plots was considered to be half a meter and the distance between the blocks was two meters. After physiological maturity, the plants were harvested and the physiological traits and grain yield were measured.

Results and Discussion

Variance analysis showed that the interaction effect of planting date, combined use of nitrogen with compost, and plant growth promoting rhizobacteria, on the traits of relative leaf water content, planting to flowering, and grain yield were significant at the 1% probability level. Also, the interaction effect of planting date and the combined use of nitrogen with compost on all traits except the length of the grain filling period and the length of sowing to physiological maturity was significant at the probability level of 1%. The mean comparison showed that the highest relative leaf water content, cell membrane thermostability, and canopy temperature depression were obtained from the treatment of 100% compost, and the highest traits of the length of sowing to flowering and length of sowing to physiological maturity were obtained in the use of 100% nitrogen. Also, the longest grain filling period, grain filling rate, and grain yield were obtained in the combined use of 50% nitrogen+ 50% compost and plant growth-promoting rhizobacteria, and the lowest value was obtained in the control of not using nitrogen and compost. In general, the delay in planting and the occurrence of terminal heat stress caused a decrease in grain yield, but on different planting dates, the combined use of 50% nitrogen+ 50% compost compared to the treatment of 100% nitrogen increased wheat grain yield.

Conclusion

According to the obtained results, in areas with terminal heat stress, the combined use of 50% nitrogen+ 50% compost and plant growth-promoting rhizobacteria can be considered to increase the growth and yield of wheat.

Keywords: Biological fertilizer, Heat stress, Khuzestan, Sugarcane compost, Wheat

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۲۱، شماره ۳، پاییز ۱٤۰۲، ص ۳۸۳-۳٦۳

مطالعه واکنش صفات فیزیولوژیک و عملکرد گندم به کاربرد تلفیقی کود شیمیایی نیتروژن با کمپوست بقایای نیشکر در شرایط تنش گرمایی

معصومه مکوندی[۱]، عبدالمهدی بخشنده[۲]، علی مشتطی[۳]*، محمد رضا مرادی تلاوت[٤]، آیدین خدایی جوقان[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۰۳

چکیده

به‌منظور بررسی اثر مصرف تلفیقی کود شیمیایی نیتروژن با کمپوست بقایای نیشکر و باکتری محرک رشد گیاه (با نام تجاری نیتروکسین) بر صفات فیزیولوژیک و عملکرد گندم رقم چمران ۲ در شرایط تنش گرمای آخر فصل اهواز، آزمایشی به‌صورت کرت‌های دو بار خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان اجرا شد. عوامل آزمایشی شامل سه تاریخ کاشت یک آذر، ۲۰ آذر و ۱۰ دی در کرت‌های اصلی؛ شش سطح مصرف تلفیقی نیتروژن با کمپوست شامل شاهد (بدون نیتروژن و کمپوست)، ۱۰۰ درصد نیتروژن، ۷۵ درصد نیتروژن+ ۲۵ درصد کمپوست، ۵۰ درصد نیتروژن+ ۵۰ درصد کمپوست، ۲۵ درصد نیتروژن+ ۷۵ درصد کمپوست و ۱۰۰ درصد کمپوست در کرت‌های فرعی و دو سطح کاربرد و عدم کاربرد باکتری در کرت‌های فرعی فرعی بود. در این آزمایش صفات محتوای آب نسبی برگ، ثبات حرارتی غشاء سلول، کاهش دمای پوشش گیاهی، طول دوره کاشت تا گلدهی، طول دوره پر شدن دانه، طول دوره کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک، سرعت پر شدن دانه، تعداد دانه در متر مربع، وزن هزار دانه و عملکرد دانه اندازه‌گیری شدند. تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل تاریخ کاشت، مصرف تلفیقی نیتروژن با کمپوست و باکتری، بر صفات محتوای آب نسبی برگ، طول دوره کاشت تا گلدهی و عملکرد دانه معنی‌دار شد. مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین محتوای نسبی آب برگ (۸۷/۳۰ درصد)، ثبات حرارتی غشای سلول (۸۲/۹۰ درصد) و کاهش دمای پوشش گیاهی (۱۱/۲۱ درجه سانتی‌گراد) در ۱۰۰ درصد کمپوست و بیشترین طول دوره کاشت تا گلدهی (۱۰۲/۶۶ روز) و طول دوره کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک (۱۵۲/۳۸ روز) در ۱۰۰ درصد نیتروژن حاصل شد. به‌طور کلی و با توجه به نتایج حاصله در مناطق دارای تنش گرمایی آخر فصل، می‌توان مصرف تلفیقی ۵۰ درصد نیتروژن+ ۵۰ درصد کمپوست و باکتری را برای افزایش عملکرد گندم مدنظر قرار داد.

واژه‌های کلیدی: تنش گرما، خوزستان، کود آلی، کود زیستی، گندم

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.) مهم‌ترین گیاه در منطقه جنوب غرب ایران است که از مرحله گلدهی تا رسیدگی فیزیولوژیک، با دمای بالا و بارندگی اندک مواجه می‌شود (Eskandari & Kamyar, 2016). کاشت گندم به‌استثنای چند منطقه در فصل پاییز انجام می‌شود. تحت چنین شرایطی، دوره رویشی گندم با بارش‌های پاییز و زمستان مصادف شده و در نتیجه معمولا محدودیت‌های محیطی چندانی بر گیاه تحمیل نمی‌شود. با این حال، آخر فصل رشد گندم هم‌زمان با افزایش دمای هوا و کمبود آب است که در نتیجه رشد گیاه تحت اثر تنش‌های گرما و خشکی قرار گرفته و پتانسیل تولید کاهش می‌یابد (Joudi, Ahmadi, Mohammadi, Abbasi, & Mohammadi, 2014). تنش گرمای انتهای فصل با تسریع مراحل رشد و نمو، کاهش طول دوره رشد رویشی و زایشی و اثر منفی بر اندام پرچم و مادگی، باعث کاهش عملکرد دانه گندم شد

۱- دانشجوی دکتری اگروتکنولوژی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران
۲- استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران
۳- استادیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران
۴- دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: A.moshatati@asnrukh.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jcesc.2023.81634.1236

(Modarresi, Mohammadi, Zali, & Mardi, 2010). دمای بالا به‌طور معنی‌داری تعداد روز تا ساقه‌روی، تعداد روز تا گلدهی و تعداد روز تا زمان رسیدگی گندم را کاهش داد (Prasad *et al.*, 2014). همچنین دمای بالا از طریق تسریع نمو سنبله و پر شدن دانه، سبب کاهش عملکرد گندم شد (Mitra & Bhatia, 2008).

نیتروژن به دلیل وظایف متعدد و مهمی که در فرآیندهای حیاتی گیاه دارد، کمبود آن بیش از سایر عناصر، تولید گیاهان زراعی را محدود می‌کند. به‌طور کلی اجزای عملکرد در گندم تحت اثر مستقیم نیتروژن هستند (Davis, Westfall, Mortvedt, & Shanahan, 2002). طبق برآوردها حدود ۴۰ تا ۶۰ درصد نیتروژن اضافه شده به خاک در زمان برداشت محصول از مزرعه خارج شده که باید از طریق مصرف کودهای شیمیایی جبران شود (FAO, 2014). جبران نیتروژن از طریق مصرف کودهای شیمیایی باعث بر هم خوردن تعادل شیمیایی خاک و شستشوی سریع تر و آلودگی بیشتر منابع آبی می‌شود که کاهش کارایی مصرف نیتروژن را در پی دارد (Ting, Yang, Drury, & Hoogenboom, 2015).

بروز مشکلات اقتصادی و زیست‌محیطی ناشی از مصرف زیاد کودهای شیمیایی نیتروژن در نتیجه فرآیندهایی چون تصعید آمونیاک، دنیتریفیکاسیون و آبشویی نیترات سبب شده است که کمپوست‌ها و سامانه‌های زیستی تثبیت‌کننده نیتروژن به‌عنوان بخشی از برنامه‌های کشاورزی پایدار به‌عنوان جایگزین کودهای شیمیایی مدنظر باشند (Raei, Eshaghi Sardroud, & Pirouz, 2013). بقایای نیشکر با داشتن مواد مغذی می‌توانند به‌عنوان یک کود آلی در کشاورزی استفاده شوند (Chauhan, Chaudhary, & Kumar, 2011). یکی از روش‌های استفاده از پسماندهای نیشکر، کمپوست کردن آن‌ها است. کمپوست شدن یکی از شناخته‌شده‌ترین فرآیندها برای تثبیت بیولوژیک مواد زائد آلی جامد است. در این فرآیند مواد زائد آلی با تبدیل شدن به یک ماده سالم‌تر و تثبیت‌شده‌تر (کمپوست)، می‌توانند به‌عنوان یک منبع مغذی و اصلاح‌کننده شرایط فیزیکی خاک در کشاورزی استفاده شوند (Gabhane, Prince William, Bidyadhar, Bhilawe, & Anand, 2012). کمپوست نیشکر یک ماده آلی پیت‌مانند است که باعث نرمی بافت خاک و افزایش تهویه، جذب رطوبت و ظرفیت نگهداری آب می‌شود. کربن آلی موجود در کمپوست، عناصر غذایی را به‌آرامی و به‌طور یکنواخت در خاک آزاد کرده و گیاه را قادر به جذب عناصر غذایی می‌نماید. علیخانی و ثواقبی (Alikhani & Sawaqabi, 2013) در پژوهشی گزارش کردند که کاربرد کود کمپوست همراه با کود بیولوژیک *ازتوباکتر*، عملکرد دانه و میزان پروتئین دانه گندم را افزایش داد که بهبود عملکرد به دلیل بهبود ارتفاع بوته، طول سنبله، عملکرد کاه و وزن هزار دانه بیان شده است (Mohamad, Thalooth, Elewa, & Ahmed, 2019). در پژوهشی با بررسی اثر کمپوست بر رشد و عملکرد ذرت (*Zea mays* L.) بیان شد که کاربرد کود کمپوست منجر به افزایش عملکرد دانه ذرت شد (Shirkhani, Nasralzadeh, & Zahtab Salmasi, 2019). تاتار و همکاران (Tatar, Bruck, & Asch, 2015) گزارش کردند که در شرایط تنش خشکی، میزان توزیع مجدد مواد فتوسنتزی گندم کاهش یافت. همچنین، در اکثر سطوح مختلف تنش خشکی، با افزایش مقدار مصرف کمپوست، میزان توزیع مجدد مواد فتوسنتزی افزایش یافت. به نظر می‌رسد که کاربرد کمپوست با فراهم آوردن شرایط مناسب رشدی، باعث افزایش تولید ماده خشک و افزایش توزیع مجدد مواد فتوسنتزی گندم شد. نتایج آزمایشی نشان داد که افزایش مصرف ورمی‌کمپوست در شرایط تنش خشکی، باعث افزایش درصد نیتروژن دانه گردید (Shirkhani *et al.*, 2019).

استفاده از پتانسیل زیستی خاک یا جامعه مفید میکروبی اعم از باکتری‌ها و قارچ‌ها به‌عنوان یک راهکار امیدبخش در کشاورزی پایدار مطرح است (Sarikhani & Amini, 2020). اخیرا به نقش ریزجانداران در سازگاری گیاهان نسبت به تنش خشکی توجه بیشتری شده است (East, 2013). این راهبرد یعنی استفاده از باکتری‌های محرک رشد گیاه (Plant growth promoting rhizobacteria: PGPR) جهت افزایش تحمل گیاهان زراعی در برابر تنش‌های غیرزنده از جمله تنش خشکی نه تنها آسان، بلکه کم هزینه و اقتصادی است (Kim, Glick, Bashan, & Ryu, 2012). باکتری‌های محرک رشد گیاه سبب انحلال فسفات نامحلول در خاک شده و از طریق تولید هورمون‌های طبیعی محرک رشد گیاه، سبب گسترش ریشه‌ها و جذب بیشتر و بهتر آب و مواد غذایی توسط گیاه می‌شوند (Esitken *et al.*, 2010). باکتری‌های محرک رشد از طریق تغییرات در سیستم ریشه‌ای میزبان، تنظیم اسمزی، مدیریت تنش اکسیداتیو از طریق بیوسنتز و متابولیسم فیتو هورمون‌ها، تولید پلی‌ساکاریدهای بزرگ و ترکیبات فعال بیولوژیک باعث کاهش پیامدهای منفی تنش بر گیاه میزبان می‌گردند (Bhattacharyya & Jha, 2012). کود زیستی نیتروکسین حاوی باکتری‌های محرک رشد گیاه شامل باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن (مخلوطی از گونه‌های *ازتوباکتر* و *آزوسپیریلوم*) و حل‌کننده فسفات (*باسیلوس و سودوموناس*) است. در این راستا توران و همکاران (Turan, Gulluce, Cacmakei, Ostas, & Sahin, 2010) بیان کردند که تلقیح هم‌زمان *آزوسپیریلوم* و دو گونه *باسیلوس* با مصرف کود اوره، عملکرد دانه گندم را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. احمدی لاهیجانی و امام (Ahmadi Lahijani & Emam, 2013) با بررسی واکنش ژنوتیپ‌های گندم به تنش خشکی انتهای فصل گزارش کردند که تحت اثر تنش خشکی انتهای فصل، محتوای آب نسبی برگ گندم کاهش یافت. در همین رابطه کمائی و همکاران (Kamaei, Isvand, Daneshvar, & Nazarian, 2018) نشان دادند که کاربرد کود زیستی فسفاته باعث افزایش محتوای نسبی آب برگ پرچم گندم شد.

همچنین کمری و سید شریفی (Kamari & Seyed Sharifi, 2015) نشان دادند که تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد منجر به افزایش طول دوره و سرعت پر شدن دانه تریتیکاله (*Triticosecale* Wittmack) در مقایسه با شاهد شد.

با توجه به اثر تنش گرمایی آخر فصل بر کاهش تولید گندم در خوزستان و همچنین اثر کاهش مصرف کودهای شیمیایی و افزایش مصرف کودهای آلی و زیستی بر پایداری و سلامت بوم نظام‌های زراعی، این آزمایش با هدف بررسی اثر مصرف تلفیقی کود شیمیایی نیتروژن با کود آلی کمپوست بقایای نیشکر و کاربرد باکتری محرک رشد در شرایط تنش گرمایی آخر فصل بر صفات فیزیولوژیک و عملکرد دانه گندم در شرایط آب و هوایی اهواز، طراحی و اجرا شد.

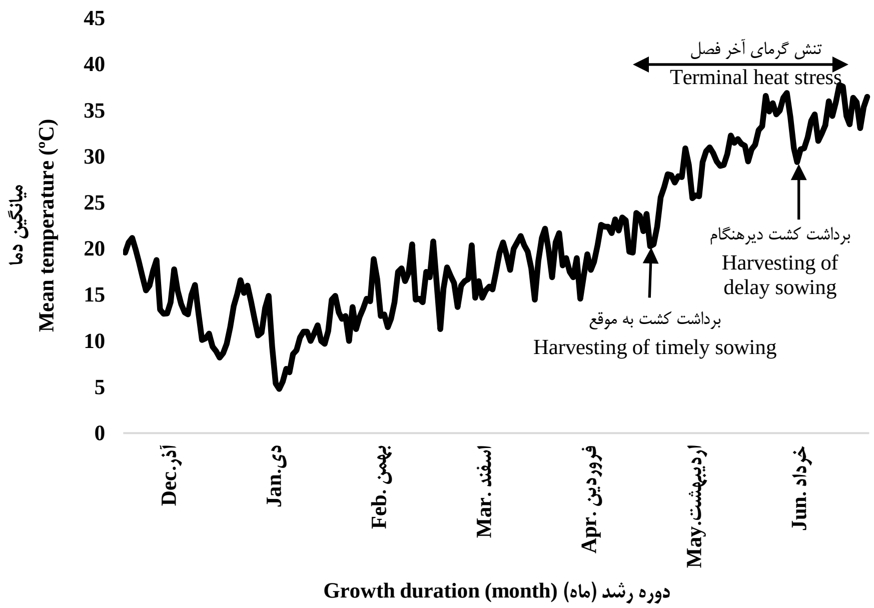
مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان در ۳۵ کیلومتری شمال شرقی اهواز و در حاشیه شرقی رودخانه کارون با عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۵۸ دقیقه و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۸۸ دقیقه و ارتفاع ۲۲ متر از سطح دریا اجرا شد. براساس آمار هواشناسی بلندمدت، شهر ملاثانی با داشتن متوسط بارندگی سالیانه حدود ۲۱۳ میلی‌متر، متوسط دمای حداقل، میانگین و حداکثر به‌ترتیب ۹/۵، ۲۳ و ۳۶ درجه سانتی‌گراد، از لحاظ اقلیمی جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد (جدول ۱ و شکل ۱).

جدول ۱- میانگین ماهانه دمای حداقل، متوسط و حداکثر و بارندگی در دوره رشد گندم در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰

Table 1- Monthly average of minimum, mean, and maximum temperatures and precipitation during the wheat growth cycle in growing season of 2021-2022

ماه Month	دمای حداقل Minimum temperature (°C)	دمای متوسط Mean temperature (°C)	دمای حداکثر Maximum temperature (°C)	بارندگی Precipitation (mm)
Dec. آذر	10.7	17.2	23.7	44.1
Jan. دی	6.5	12.5	18.2	65.1
Feb. بهمن	7.8	13.6	20.6	13.4
Mar. اسفند	11.7	18.4	21.5	4.3
Apr. فروردین	14.7	23.6	32.5	0
May. اردیبهشت	20.1	27.7	36.3	0
June خرداد	23.8	34.0	44.1	0



شکل ۱- میانگین دما در طول دوره رشد گندم در اهواز در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰

Figure 1- Mean temperatures during wheat growth duration in Ahwaz in growing season of 2021-2022

این آزمایش به‌صورت کرت‌های دو بار خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل اول: تاریخ کاشت (جهت اعمال تنش گرمایی آخر فصل) در سه سطح ۱ آذر، ۲۰ آذر و ۱۰ دی به‌عنوان عامل اصلی در کرت‌های اصلی؛ عامل دوم: نسبت‌های مختلف مصرف تلفیقی کود شیمیایی نیتروژن (اوره) با کود آلی کمپوست بقایای نیشکر در کرت‌های فرعی در شش سطح شامل: شاهد (بدون کود نیتروژن و کمپوست)، ۱۰۰ درصد کود نیتروژن، ۷۵ درصد کود نیتروژن+ ۲۵ درصد کود کمپوست، ۵۰ درصد کود نیتروژن+ ۵۰ درصد کود کمپوست، ۲۵ درصد کود نیتروژن+ ۷۵ درصد کود کمپوست و ۱۰۰ درصد کود کمپوست در کرت‌های فرعی و عامل سوم: در ۲ سطح تلقیح و عدم تلقیح باکتری‌های محرک رشد گیاه (کود زیستی نیتروکسین حاوی باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن (مخلوطی از گونه‌های *ازتوباکتر* و *آزوسپیریلوم*) و حل‌کننده فسفات (*باسیلوس و سودوموناس*) است) در کرت‌های فرعی فرعی بود. درصد جایگزینی کود شیمیایی نیتروژن و کود آلی کمپوست بقایای نیشکر بر مبنای نیاز گندم به نیتروژن (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) (LotfAli-Ayeneh, Naderi, & Andarzian, 2013) محاسبه و براساس تیمار، میزان کاربرد کود نیتروژن و کود کمپوست محاسبه و مصرف شد. ابتدا به‌منظور تحریک جوانه‌زنی علف‌های هرز و کنترل مطلوب‌تر آن‌ها و تأمین رطوبت مناسب جهت انجام عملیات شخم، قبل از آماده‌سازی فیزیکی زمین، قطعه زمین آزمایش، آبیاری قبل از شخم (ماخار) شد. دو تا سه هفته بعد از آبیاری و کاهش رطوبت خاک مزرعه، شخم نیمه‌عمیق با گاوآهن برگردان‌دار و پس از آن جهت خرد کردن کلوخه‌ها و تسطیح زمین، دو مرحله دیسک در جهت عمود بر هم انجام شد. قبل از کاشت، نمونه‌برداری از خاک جهت ارزیابی خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک صورت گرفت (جدول ۲). همچنین کود کمپوست بقایای نیشکر از شرکت کشت و صنعت کارون شوشتر تهیه و خصوصیات شیمیایی و فیزیکی آن اندازه‌گیری شد (جدول ۲).

جدول ۲- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک (صفر تا ۳۰ سانتی‌متر) و کمپوست بقایای نیشکر

Table 2- Physical and chemical properties of soil (0-30 cm) and sugarcane residue compost

مشخصات فیزیکی و شیمیایی Physical and chemical properties	خاک Soil	کمپوست بقایای نیشکر Sugarcane residue compost
EC (dS m^{-1}) هدایت الکتریکی	2.6	4.1
pH اسیدیته	7.9	8.8
Organic matter (%) ماده آلی	0.4	53.5
N (%) نیتروژن	0.03	0.95
P (mg kg^{-1}) فسفر	12	50
K (mg kg^{-1}) پتاسیم	119	1050
Bulk density (g cm^{-3}) وزن مخصوص ظاهری	1.21	-
Texture بافت	Silty clay loam لوم رسی سیلتی	-

کود کمپوست بقایای نیشکر توزین و در مرحله قبل از کاشت در کرت‌های آزمایشی مورد نظر پخش شده و توسط دستگاه روتیواتور با خاک مخلوط شد. باکتری‌های محرک رشد مورد استفاده در این آزمایش (با نام تجاری نیتروکسین)، شامل باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن (مخلوطی از گونه‌های *ازتوباکتر* و *آزوسپیریلوم*) و حل‌کننده فسفات (*باسیلوس و سودوموناس*) است که از شرکت فناوری زیستی مهر آسیا تهیه شد. تعداد سلول زنده در هر گرم مایه تلقیح ترکیب نیتروکسین 10^8 عدد باکتری زنده است. در تیمارهای کاربرد باکتری‌های محرک رشد، برای تلقیح بذرها، پس از محاسبه میزان بذر برای هر تیمار و ریختن آن‌ها در یک کیسه پلی‌اتیلن، مقدار ۲۰ میلی‌لیتر صمغ عربی به آن اضافه و برای مدت ۳۰ ثانیه به شدت تکان داده شد تا سطح کلیه بذرها به‌طور یکنواخت چسبناک شود. پس از آن، مقدار ۲۰ گرم مایه تلقیح به بذرهای چسبناک اضافه شد و پس از ۴۵ ثانیه تکان دادن و اطمینان از چسبیدن یکنواخت مایه تلقیح به بذرها، بذرهای آغشته به مایه تلقیح روی ورقه آلومینیومی تمیز در زیر سایه پهن شد تا بذرها خشک شوند (Zahir, Arshad, & Frankenberger, 2003). سپس به سرعت نسبت به کاشت بذرها اقدام شد. مقدار مصرف نیتروژن در تیمار ۱۰۰ درصد شیمیایی، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص از منبع اوره بود که به‌صورت یک سوم قبل از کاشت، یک سوم در مرحله پنجه‌زنی و یک سوم در مرحله ساقه رفتن مصرف شد (LotfAli-Ayeneh *et al.*, 2013). هر کرت فرعی به طول سه متر و عرض دو متر (با مساحت شش متر مربع) و شامل ۱۰ خط کشت به فاصله ۲۰ سانتی‌متر از هم بود. فاصله بین کرت‌های اصلی و فرعی نیم متر و فاصله بین بلوک‌ها دو متر در نظر گرفته شد. بذرهای گندم (رقم چمران ۲) از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان تهیه شد و با تراکم ۴۰۰ بذر در

متر مربع به روش دستی در عمق حدود سه سانتی‌متری به‌صورت مسطح در کف شیار قرار گرفت. رقم چمران ۲؛ بهاره، نسبتا زودرس و نسبت به خوابیدگی، ریزش دانه، زنگ زرد و قهوه‌ای و گرمای آخر فصل متحمل بوده و برای مناطق گرم و خشک جنوب کشور مثل استان خوزستان مناسب است (Malihipoor, Esmaeilzade Moghadam, & Najafian, 2020). آبیاری به روش کرتی، متناسب با نیاز گیاه، رطوبت خاک و شرایط آب و هوایی انجام شد. کنترل علف‌های هرز به‌صورت دستی و بدون استفاده از علف‌کش انجام شد. پس از رسیدن گیاه به مرحله رسیدگی برداشت، برای تعیین عملکرد دانه، عملیات برداشت با در نظر گرفتن اثر حاشیه از دو متر مربع انجام و کلیه صفات مورد نظر اندازه‌گیری شد. محتوای نسبی آب برگ، در اواخر مرحله ظهور سنبله‌ها و قبل از گرده‌افشانی، به روش ریچی و نگوین (Ritchie & Nguyen, 1990) و با استفاده از رابطه (۱) اندازه‌گیری شد که در آن وزن تر (FW)، وزن تورژسانس (SW)و وزن خشک نمونه (DW) اندازه‌گیری شد.

$$RWC\%=[(FW-DW)/(SW-DW)]\times100 \qquad (۱)$$

برای تعیین ثبات حرارتی غشاء سلول از ترکیب تکنیک سنجش میزان نشت یونی والنتوویک و همکاران (Valentovic, Luxoval, Kolarov, & Gasparikova, 2006) و رابطه (۲) استفاده شد. در این معادله هر چه‌قدر نشت الکترولیت‌ها بیشتر باشد، پایداری غشاء کمتر است. نشت الکترولیت‌ها به‌وسیله دستگاه ECمتر قرائت شد.

$$EL\%= [1-(EC1/EC2)]\times100 \qquad (۲)$$

در رابطه فوق؛ EL: درصد نشت الکترولیت‌های غشاء سلولی، EC1: هدایت الکتریکی نمونه‌ها بعد از قرار گرفتن به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر و EC2: هدایت الکتریکی نمونه‌ها بعد از قرار دادن در اتوکلاو است.

به‌منظور تعیین کاهش دمای پوشش گیاهی در مرحله گلدهی، دمای سایه‌انداز در هر کرت آزمایشی با استفاده از دماسنج مادون قرمز (مدل TASCO, HI500) اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری قبل از ظهر با زاویه ۳۰ درجه نسبت به افق و در حالی‌که به سمت بالای پوشش گیاهی نشانه‌گیری می‌شد، انجام گرفت. درجه حرارت محیط نیز همزمان با دماسنج دیجیتال دستی (مدل Osk-1153) اندازه‌گیری شد. تفاوت بین درجه حرارت محیط و پوشش گیاهی به‌عنوان کاهش دمای پوشش گیاهی (CTD) منظور گردید (Reynolds, Orits-Monasterio, & Cnab, 2001). جهت تعیین طول دوره کاشت تا گرده‌افشانی و گرده‌افشانی تا رسیدگی فیزیولوژیک، تاریخ گرده‌افشانی و رسیدگی فیزیولوژیک کرت‌ها به‌صورت جداگانه یادداشت‌برداری شد. به‌منظور تعیین طول دوره و سرعت پر شدن دانه؛ فاصله بین گرده‌افشانی (ظهور ۵۰ درصد پرچم‌های هر کرت) تا رسیدگی فیزیولوژیک به‌عنوان طول دوره پر شدن دانه منظور شد. متوسط سرعت پر شدن دانه از تقسیم وزن تک دانه (وزن هزار دانه تقسیم بر یک هزار) به طول دوره پر شدن دانه بر حسب میلی‌گرم بر روز محاسبه شد (Radmehr, Ayeneh, & Mamaghani, 2005). تعداد دانه در متر مربع از حاصلضرب تعداد سنبله در متر مربع در تعداد دانه در سنبله محاسبه و وزن هزار دانه از طریق شمارش و توزین دو نمونه ۵۰۰تایی بذر اندازه‌گیری شد. عملکرد دانه در بوته و در هکتار براساس رطوبت ۱۴ درصد از طریق توزین نهایی عملکرد دانه در سطح برداشتی (دو متر مربع) و تبدیل آن به هکتار اندازه‌گیری شد. برای تجزیه‌ی آماری داده‌ها و مقایسه میانگین صفات به روش حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد، از نرم‌افزار تجزیه آماری (SAS 9.4) استفاده شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس نشان داد که اثر تاریخ کاشت و اثر مصرف تلفیقی کود نیتروژنی با کود آلی کمپوست بقایای نیشکر بر تمام صفات اندازه‌گیری‌شده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اثر باکتری محرک رشد بر تمامی صفات به‌جز طول دوره کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. برهم‌کنش دوجانبه تاریخ کاشت و مصرف تلفیقی کود نیتروژن با کود کمپوست بر تمامی صفات به‌جز طول دوره پر شدن دانه و طول دوره کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک معنی‌دار بود. برهم‌کنش دوجانبه تاریخ کاشت و باکتری محرک رشد گیاه بر صفات طول دوره کاشت تا گلدهی، سرعت پر شدن دانه و عملکرد دانه معنی‌دار بود. برهم‌کنش دوجانبه مصرف تلفیقی کود نیتروژن با کود کمپوست و باکتری محرک رشد بر صفات طول دوره کاشت تا گلدهی و سرعت پر شدن دانه و همچنین برهم‌کنش سه‌جانبه تاریخ کاشت و مصرف تلفیقی کود نیتروژن با کود کمپوست و باکتری محرک رشد بر صفات محتوای نسبی آب برگ، طول دوره کاشت تا گلدهی و عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۳).

شاخص محتوای آب نسبی برگ: تجزیه واریانس نشان داد که اثر برهم‌کنش تاریخ کاشت، مصرف تلفیقی کود نیتروژنی با کمپوست بقایای نیشکر و باکتری محرک رشد بر شاخص محتوای آب نسبی برگ در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). براساس نتایج مقایسه میانگین محتوای آب نسبی برگ به روش برش‌دهی فیزیکی (جدول ۴)؛ در تاریخ کاشت اول (۱ آذر)، بیشترین محتوای آب نسبی برگ (۸۷/۳۰ درصد) در مصرف ۱۰۰ درصد کمپوست نیشکر با باکتری محرک رشد و کمترین محتوای آب نسبی برگ (۷۰/۸۶ درصد) از شاهد حاصل شد. در تاریخ کشت دوم (۲۰ آذر)، بیشترین و کمترین محتوای آب نسبی برگ به‌ترتیب با مقدار ۸۰/۵۶ و ۶۴/۸۰ درصد در تیمار مصرف تلفیقی ۱۰۰ درصد کمپوست نیشکر و شاهد به‌دست آمد.

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر مصرف تلفیقی نیتروژن با کمپوست بقایای نیشکر و باکتری محرک رشد گیاه در شرایط تنش گرمای آخر فصل برای صفات اندازه‌گیری‌شده گندم

Table 3- Variance analysis (Means of squares) of the effect of combined use of nitrogen with sugarcane residue compost and plant growth promoting rhizobacteria in late season heat stress conditions for the measured traits of wheat

منبع تغییر S.O.V	درجه آزادی DF	Means of squares (MS) میانگین مربعات									
		محتوای نسبی آب برگ Relative leaf water content	ثبات حرارتی غشاء سلول Cell membrane thermostability	کاهش دمای پوشش گیاهی Canopy temperature depression (C)	طول دوره کاشت تا گلدهی Sowing to flowering	طول دوره پر شدن دانه Grain filling duration	طول دوره کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک Sowing to maturity	سرعت پر شدن دانه Grain filling rate	تعداد دانه در متر مربع Number of grains per square meter	وزن هزار دانه 1000-grain wight	عملکرد دانه Grain yield
تکرار Replication (R)	2	0.93	2.74	0.20	4.59	1.00	43.36	0.006	363142	17.65	3148.54
تاریخ کاشت Sowing date (SD)	2	1215.47**	969.81**	83.27**	2355.56**	2002.48**	8401.19**	0.13**	587592286**	492.41**	19644945**
خطای الف Error (a)	4	2.76	3.44	0.29	1.92	1.64	35.68	0.0001	61300	0.49	3560.66
نیتروژن+کمپوست (NC)	5	357.60**	758.65**	29.88**	112.32**	42.34**	339.88**	0.07**	283986232**	271.45**	19980879**
SD×NC	10	3.22**	11.05**	0.33**	3.90**	0.44^{ns}	5.35^{ns}	0.003**	4627362**	3.86**	256507.47**
خطای ب Error (b)	30	2.06	3.38	0.04	1.24	0.27	27.29	0.0006	541707	1.42**	4830.02
باکتری محرک رشد (PGPR)	1	142.37**	250.55**	3.06**	14.81**	4.89**	10.70^{ns}	0.03**	54063114**	100.53**	965828.28**
SD×PGPR	2	0.05^{ns}	0.12^{ns}	0.05^{ns}	0.28*	0.03^{ns}	2.23^{ns}	0.0009*	361099^{ns}	1.03^{ns}	61478.39**
NC×PGPR	5	0.67^{ns}	1.63^{ns}	0.04^{ns}	0.30**	0.03^{ns}	46.63^{ns}	0.0005*	336043^{ns}	1.14^{ns}	2685.61^{ns}
SD×NC×PGPR	10	0.66*	0.59^{ns}	0.02^{ns}	0.20*	0.07^{ns}	1.29^{ns}	0.0002^{ns}	121737^{ns}	0.55^{ns}	16315.20*
خطای پ Error (c)	36	0.31	0.81	0.03	0.08	0.26	23.37	0.0002	267481	0.53	6924.6
ضریب تغییرات (٪) CV (%)	-	0.8	1.3	2.1	0.3	1.1	3.5	1.8	3.5	1.8	2.4

ns، * و **: به‌ترتیب نشان‌دهنده اختلاف غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد

ns, * and **: Non-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively

همچنین در تاریخ کاشت سوم (۱۰ دی)، بیشترین مقدار این صفت (۷۴/۳۰ درصد) از مصرف ۱۰۰ درصد کمپوست نیشکر با باکتری محرک رشد و کمترین مقدار آن (۵۹/۲۳ درصد) در شرایط شاهد و عدم مصرف باکتری محرک رشد بود. کمایی و همکاران (Kamaei *et al.*, 2018) با بررسی اثر محلول‌پاشی پتاسیم، روی و بور بر برخی صفات کمی و فیزیولوژیک گندم تحت کشت تاخیری (با هدف اعمال تنش گرما) گزارش کردند که در اثر تاخیر در کاشت، محتوای آب نسبی برگ کاهش یافت. احمدی لاهیجانی و امام (Ahmadi Lahijani & Imam, 2013) گزارش دادند که پتانسیل آب برگ و محتوای آب نسبی برگ گندم تحت اثر تنش خشکی انتهای فصل کاهش یافت. در این آزمایش در هر سه تاریخ کاشت؛ با افزایش مصرف کمپوست، محتوای آب نسبی برگ افزایش یافت. به بیان دیگر، افزایش مصرف کمپوست توانست اثر منفی ناشی از تنش گرمای انتهای فصل را کاهش دهد. با افزایش مصرف کمپوست در خاک، حفظ و تامین رطوبت در خاک برای گیاه افزایش یافته و محتوای آب نسبی برگ افزایش یافت. نیتروژن از طریق افزایش سنتز پروتئین‌ها و افزایش ضخامت دیواره سلولی، باعث جذب بیشتر آب توسط پروتوپلاسم سلول شده و در نتیجه آن محتوای آب نسبی برگ گیاه بهبود می‌یابد (Malakooti & Homaee, 2004). در پژوهش عیسی پور نخجیری (Eisapournakhjiri, Ashuri, Sadeghi, Mohamadian Roshan, & Rezaei, 2022)، با افزایش مصرف کود نیتروژن از صفر تا ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار، محتوای آب نسبی برگ برنج افزایش یافت. در رابطه با اثر باکتری محرک رشد بر این شاخص، حسن پور و زند (Hassanpour & Zand, 2014) در بررسی اثر تلقیح بذر گندم با کودهای زیستی بر کاهش خسارت ناشی از تنش خشکی گزارش کردند که تلقیح توام بذر با دو ریز جانداران *ازتوباکتر* و *میکوریزا* سبب افزایش ۱۱/۹ درصدی محتوای آب نسبی برگ گندم شد. تلقیح با باکتری، تولید متابولیت‌های ثانویه سازگار در گیاه را ترغیب نموده و در نتیجه با کاهش پتانسیل اسمزی در داخل گیاه، شرایط را برای افزایش جذب آب و عناصر غذایی و همچنین گسترش ریشه‌ها و به دنبال آن افزایش محتوای آب نسبی برگ فراهم می‌کند (Arvin, Vafabakhsh, & Mazaheri, 2018).

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر متقابل تاریخ کاشت، کود نیتروژن با کود کمپوست و باکتری محرک رشد گیاه برای محتوای نسبی آب برگ، طول دوره کاشت تا گلدهی و عملکرد دانه

Table 4- Mean comparison of the interaction effect of sowing date, nitrogen fertilizer with compost fertilizer, and plant growth promoting rhizobacteria for relative leaf water content, length of sowing to flowering period, and grain yield

تاریخ کاشت Sowing date (SD)	مصرف تلفیقی نیتروژن با کمپوست Combined use of nitrogen with compost	باکتری محرک رشد Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR)	محتوای نسبی آب برگ Relative leaf water content (%)	کاشت تا گلدهی (روز) Sowing to flowering (d)	عملکرد دانه Grain yield (kg ha^{-1})
۱ آذر 22 Nov.	شاهد (F1)	inoculation تلقیح	72.83	97.66	2936.47
	Control	Non inoculation عدم تلقیح	70.86	96.33	2705.67
	۱۰۰ درصد نیتروژن (F2)	inoculation تلقیح	77.53f	102.66	4942.30
	100% nitrogen (F2)	Non inoculation عدم تلقیح	75.23	101.66	4636.07
	۷۵ درصد نیتروژن+ ۲۵ درصد کمپوست (F3)	inoculation تلقیح	77.86	101.00	5007.13
	75% nitrogen+ 25% compost (F3)	Non inoculation عدم تلقیح	75.86	100.66	4800.77
	۵۰ درصد نیتروژن+ ۵۰ درصد کمپوست (F4)	inoculation تلقیح	78.76	100.66	5864.40
	50% nitrogen+ 50% compost (F4)	Non inoculation عدم تلقیح	76.66	99.66	5462.00
	۲۵ درصد نیتروژن+ ۷۵ درصد کمپوست (F5)	inoculation تلقیح	82.60	99.00	3864.63
	25% nitrogen+ 75% compost (F5)	Non inoculation عدم تلقیح	79.66	98.00	3627.00
	۱۰۰ درصد کمپوست (F6)	inoculation تلقیح	87.30	98.33	3277.33
	100% compost (F6)	Non inoculation عدم تلقیح	85.23	97.33	3069.13
	LSD (5%)		1.57	1.07	123.05
۲۰ آذر 11 Dec.	شاهد (F1)	inoculation تلقیح	69.03	87.66	2291.57
	Control	Non inoculation عدم تلقیح	64.80	86.66	2066.60
	۱۰۰ درصد نیتروژن (F2)	inoculation تلقیح	72.56	92.66	4438.70
	100% nitrogen (F2)	Non inoculation عدم تلقیح	71.10	92.33	4483.03
	۷۵ درصد نیتروژن+ ۲۵ درصد کمپوست (F3)	inoculation تلقیح	72.76	92.33	4632.63
	75% nitrogen+ 25% compost (F3)	Non inoculation عدم تلقیح	70.76	92.00	4443.10
	۵۰ درصد نیتروژن+ ۵۰ درصد کمپوست (F4)	inoculation تلقیح	73.36	91.00	4873.50
	nitrogen+ 50% compost 50% (F4)	Non inoculation عدم تلقیح	70.50	90.33	4873.87
	۲۵ درصد نیتروژن+ ۷۵ درصد کمپوست (F5)	inoculation تلقیح	76.36	89.00	3245.23
	25% nitrogen+ 75% compost (F5)	Non inoculation عدم تلقیح	74.36	88.33	3161.30
	۱۰۰ درصد کمپوست (F6)	inoculation تلقیح	80.56	88.33	2718.00
	100% compost (F6)	Non inoculation عدم تلقیح	78.83	87.66	2564.33
	LSD (5%)		2.34	0.91	178.14
۱۰دی 31 Dec.	شاهد (F1)	inoculation تلقیح	61.70	79.33	1193.90
	Control	Non inoculation عدم تلقیح	59.23	78.33	1115.83
	۱۰۰ درصد نیتروژن (F2)	inoculation تلقیح	65.60	88.00[a]	3393.83
	100% nitrogen (F2)	Non inoculation عدم تلقیح	63.23	87.66	3173.87
	۷۵ درصد نیتروژن+ ۲۵ درصد کمپوست (F3)	inoculation تلقیح	67.10	86.33	3694.30
	75% nitrogen+ 25% compost (F3)	Non inoculation عدم تلقیح	65.00	85.33	3410.80
	۵۰ درصد نیتروژن+ ۵۰ درصد کمپوست (F4)	inoculation تلقیح	69.30	84.66	3723.33
	nitrogen+ 50% compost 50% (F4)	Non inoculation عدم تلقیح	66.36	83.66	3520.53
	۲۵ درصد نیتروژن+ ۷۵ درصد کمپوست (F5)	inoculation تلقیح	69.36	83.33	2699.37
	25% nitrogen+ 75% compost (F5)	Non inoculation عدم تلقیح	67.50	82.33	2423.93
	۱۰۰ درصد کمپوست (F6)	inoculation تلقیح	74.30	80.33	2235.07
	100% compost (F6)	Non inoculation عدم تلقیح	72.36	80.66	2089.47
	LSD (5%)		1.24	1.81	67.07

ثبات حرارتی غشاء سلول: براساس تجزیه واریانس؛ اثر تاریخ کاشت، مصرف تلفیقی کود نیتروژن با کمپوست و همچنین اثر باکتری محرک رشد بر صفت ثبات حرارتی غشای سلول در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). براساس مقایسه میانگین برهم‌کنش تاریخ کاشت و مصرف تلفیقی کود نیتروژن با کود کمپوست برای ثبات حرارتی غشاء سلول به روش برش‌دهی فیزیکی (جدول ۵)، در تاریخ کاشت اول (۱ آذر)، بیشترین ثبات غشای سلول (۸۲/۹۰ درصد) در مصرف ۱۰۰ درصد کمپوست و کمترین مقدار آن (۶۵/۱۸ درصد) در شرایط شاهد عدم مصرف کود نیتروژن و کمپوست حاصل شد. در تاریخ کاشت دوم (۲۰ آذر)، بیشترین ثبات غشای سلول (۷۶/۶۸ درصد) و کمترین آن (۶۱/۷۸ درصد) به‌ترتیب مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد کود کمپوست و شاهد بود. در تاریخ کاشت سوم (۱۰ دی)، بیشترین ثبات غشای سلول (۷۴/۸۵ درصد) مربوط به تیمار مصرف ۱۰۰ درصد کمپوست و کمترین مقدار آن (۵۳/۸۱ درصد) به شاهد تعلق گرفت. لی و همکاران (Lee, Ahsan, Lee, & Kang, 2005) گزارش کردند که تحت شرایط درجه حرارت بالا، تولید و انباشت انواع اکسیژن فعال به اکسایش و تخریب پروتئین‌ها و لیپیدهای غشاء و در نهایت به افزایش نشت الکترولیت‌ها (کاهش ثبات حرارتی غشای سلول) منجر شد. نتیجه آزمایشی نشان داد که تنش گرمای انتهایی باعث کاهش ثبات حرارتی غشای سلول شد (Kamaei *et al.*, 2018). شاه نظری و همکاران (Shahnazari, Golkar, & Mirmohammady Maibody, 2018) گزارش کردند که در اثر تنش خشکی، ثبات حرارتی غشای سلول تریتیکاله کاهش یافت. به‌طور کلی با افزایش میزان مصرف کمپوست، ثبات حرارتی غشای سلول افزایش یافت. به نظر می‌رسد که با افزایش مصرف کمپوست، حفظ و تامین رطوبت مورد نیاز گیاه افزایش یافته و منجر به افزایش ثبات حرارتی غشای سلول شده است. در آزمایش صافی و همکاران (Safi, Moshatati, Gharineh, & Khodaei Joghan, 2022)، بیشترین ثبات حرارتی غشای سلول (۶۶/۹ درصد) در مصرف ۴۰ تن در هکتار کمپوست بقایای نیشکر و کمترین مقدار آن (۵۷/۰ درصد) در عدم کاربرد کمپوست به‌دست آمد. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین ثبات حرارتی غشای سلول (۶۹/۶۰ درصد) و کمترین مقدار آن (۶۶/۵۶ درصد) به‌ترتیب در شرایط تلقیح و عدم تلقیح باکتری محرک رشد به‌دست آمد. کریمی و همکاران (Karimi, Zarea, & Mehnaz, 2018) گزارش کردند که بیشترین ثبات حرارتی غشاء سلول گندم (۸۲/۱۳ درصد) در ترکیب تیماری تاریخ کاشت ۳۰ آبان ماه× بذر مال کود زیستی فسفاته× محلول‌پاشی روی و کمترین آن (۵۹/۰۶ درصد) در ترکیب تیماری تاریخ کاشت تاخیری ۱۵ دی ماه× عدم مصرف کود زیستی فسفاته× محلول‌پاشی بور به‌دست آمد. احتمالا کاربرد باکتری‌های محرک رشد از طریق اثر بر رشد سلول، باعث افزایش ثبات غشای سلولی و کاهش نشت الکترولیت‌ها شده است (Wu, 2009).

کاهش دمای پوشش گیاهی: تجزیه واریانس نشان داد که اثر تاریخ کاشت، مصرف تلفیقی کود نیتروژن با کود کمپوست، برهم‌کنش تاریخ کاشت و مصرف تلفیقی کود نیتروژن با کود کمپوست و همچنین باکتری محرک رشد بر صفت کاهش دمای پوشش گیاهی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین برهم‌کنش تاریخ کاشت و مصرف تلفیقی کود نیتروژن با کود کمپوست برای کاهش دمای پوشش گیاهی (جدول ۵) نشان داد که در تاریخ کاشت اول (۱ آذر)، بیشترین کاهش دمای پوشش گیاهی (۱۱/۲۱ درجه سانتی‌گراد) و کمترین آن (۸/۰۸ درجه سانتی‌گراد) به‌ترتیب مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد کود کمپوست و شاهد بود. در تاریخ کاشت دوم (۲۰ آذر)، بیشترین کاهش دمای پوشش گیاهی (۱۰/۳۰ درجه سانتی‌گراد) به تیمار ۱۰۰ درصد کود کمپوست و کمترین میزان آن (۷/۰۱ درجه سانتی‌گراد) به شاهد تعلق گرفت. در تاریخ کاشت سوم (۱۰ دی)، بیشترین (۸/۶۳ درجه سانتی‌گراد) و کمترین میزان این شاخص (۴/۸ درجه سانتی‌گراد) از تیمار ۱۰۰ درصد کمپوست و عدم کاربرد کود نیتروژن و کود کمپوست حاصل شد. با تاخیر در کاشت، مراحل مختلف نمو با تاخیر نسبی در مقایسه با تاریخ کاشت قبلی اتفاق می‌افتد و این تاخیر زمانی باعث می‌شود که مراحل نمو در شرایط نامناسب‌تری از نظر درجه حرارت قرار گیرند. پژوهشگران گزارش کردند که با افزایش تنش خشکی، دمای پوشش گیاهی افزایش می‌یابد و اختلاف دمای پوشش گیاهی و دمای هوا کم می‌شود (Obidiegwu, Bryan, Jones, & Prashar, 2015).

کاهش دمای پوشش گیاهی در مقایسه با دمای محیط، یک معیار قابل سنجش ساده و کاربردی است (Nazeri, 2017). در این خصوص، ابرکین و همکاران (Aberkane *et al.*, 2021) گزارش دادند که تنش خشکی باعث افزایش دمای پوشش گیاهی گندم شد. تنش خشکی موجب می‌شود که پتانسیل آب و محتوای آب نسبی برگ‌ها به میزان قابل‌توجهی کاهش یابد. در این شرایط گیاه در پاسخ به افزایش غلظت هورمون اسید آبسزیک در برگ‌ها، روزنه‌های خود را می‌بندد و تعرق کمتری صورت می‌گیرد. از آنجا که تعرق مهم‌ترین عامل کاهش دمای برگ‌ها است؛ با کاهش میزان تعرق، درجه حرارت برگ‌ها و به دنبال آن درجه حرارت پوشش گیاهی افزایش می‌یابد (Rostami, Ahmadi, & Mohammadi, 2017).

جدول ۵- مقایسه میانگین برهم‌کنش تاریخ کاشت و مصرف تلفیقی کود نیتروژن با کمپوست بر ثبات حرارتی غشاء سلول، کاهش دمای کانوپی، سرعت پر شدن دانه، تعداد دانه در متر مربع و وزن هزار دانه گندم

Table 5- Mean comparison for the interaction effect of sowing date and integrated use of nitrogen fertilizer with compost for cell membrane thermostability, canopy temperature depression, grain filling rate, number of grains per square meter, and 1000-grain weight of wheat

تاریخ کاشت Sowing date (SD)	مصرف تلفیقی نیتروژن با کمپوست Combined use of nitrogen with compost	ثبات حرارتی غشاء سلول Cell membrane thermostability (%)	کاهش دمای پوشش گیاهی Canopy temperature depression (°C)	سرعت پرشدن دانه Grain filling rate (mg d^{-1})	تعداد دانه در متر مربع Number of grains per square meter	وزن هزار دانه 1000- grain wight (g)
۱ آذر 22 Nov.	شاهد (F1) Control	65.18	8.05	0.74	12485.5	36.35
	۱۰۰ درصد نیتروژن (F2) 100% nitrogen (F2)	69.28	9.01	0.80	18821.2	43.68
	۷۵ درصد نیتروژن+ ۲۵ درصد کمپوست (F3) 75% nitrogen+ 25% compost (F3)	70.55	9.10	0.84	20833.2	46.20
	۵۰ درصد نیتروژن+ ۵۰ درصد کمپوست (F4) 50% nitrogen+ 50% compost (F4)	73.50	10.26	0.85	25499.3	47.71
	۲۵ درصد نیتروژن+ ۷۵ درصد کمپوست (F5) 25% nitrogen+ 75% compost (F5)	76.55	10.93	0.77	18287.5	42.46
	۱۰۰ درصد کمپوست (F6) 100% compost (F6)	82.93	11.21	0.79	15203.0	41.05
LSD(5%)		1.33	0.35	0.01	716.73	1.02
۲۰ آذر 11 Dec.	شاهد (F1) Control	61.78	7.01	0.82	10074.6	35.50
	۱۰۰ درصد نیتروژن (F2) 100% nitrogen (F2)	63.98	7.75	0.90	16679.9	41.40
	۷۵ درصد نیتروژن+ ۲۵ درصد کمپوست (F3) 75% nitrogen+ 25% compost (F3)	66.31	8.55	0.95	168.7.0	43.38
	۵۰ درصد نیتروژن+ ۵۰ درصد کمپوست (F4) 50% nitrogen+ 50% compost (F4)	71.10	8.76	0.97	21331.1	45.36
	۲۵ درصد نیتروژن+ ۷۵ درصد کمپوست (F5) 25% nitrogen+ 75% compost (F5)	71.65	9.56	0.84	12960.3	38.28
	۱۰۰ درصد کمپوست (F6) 100% compost (F6)	76.86	10.30	0.84	11493.1	36.90
LSD(5%)		2.09	0.17	0.02	1002.7	1.19
۱۰ دی 31 Dec.	شاهد (F1) Control	53.81^{f}	4.80^{f}	0.83	6388.7	30.35^{e}
	۱۰۰ درصد نیتروژن (F2) 100% nitrogen (F2)	56.55	5.60	0.95	10687.4	37.46
	۷۵ درصد نیتروژن+ ۲۵ درصد کمپوست (F3) 75% nitrogen+ 25% compost (F3)	58.73	6.31	0.99	12989.4	39.46

۵۰ درصد نیتروژن+ ۵۰ درصد کمپوست (F4) 50% nitrogen+ 50% compost (F4)	65.23	7.26	1.03[a]	15471.4	41.76[a]
۲۵ درصد نیتروژن+ ۷۵ درصد کمپوست (F5) 25% nitrogen+ 75% compost (F5)	66.80	7.96	0.82[e]	9244.4	32.53
۱۰۰ درصد کمپوست (F6) 100% compost (F6)	74.85[a]	8.63[a]	0.89	7948.1	33.45
LSD(5%)	1.54	0.09	0.03	409.2	1.25

از طرف دیگر، در سه تاریخ کاشت، افـزایش مصـرف کمپوسـت، باعث کاهش دمای پوشـش گیـاهی شـد. احتمـالا افـزایش مصـرف کمپوست موجب حفظ رطوبت خاک، جلوگیری از بسته شدن روزنه‌ها، ادامه تبادلات گازی و کاهش دمای پوشش گیـاهی گردیـد (Safi et al., 2022) در همـین خصـوص عبدالمجیـد و همکـاران (Abd El-Mageed, El-Samnoudi, Ibrahim, & Abd El Tawwab, 2018) گزارش دادند که بـا مصـرف کمپوسـت آلـی، دمـای پوشش گیاهی سورگوم کاهش یافت. در رابطه با اثر نیتروژن بر کاهش دمای پوشش گیاهی می‌توان گفت که مصرف کودهای شیمیایی با افـزایش میزان نیتروژن گیاه، موجب افزایش میزان کلروفیل و کارتنوئیـد شـده که به دنبال آن سبزینگی، توانایی جذب نور، تولید مـواد فتوسـنتزی و در نهایت رشد و عملکرد گیاه افزایش می‌یابد. احتمالا پوشش گیـاهی مناسب ناشی از مصرف کود نیتروژن، به دلیل افزایش پوشش زمـین، حفظ بیشتر رطوبت خـاک، کـاهش تبخیـر از سـطح خـاک، افـزایش راندمان مصرف آب و افزایش رطوبت نسـبی کـانوپی، باعـث کـاهش دمای پوشش گیاهی شده است. تیلینگ و همکاران (Tilling *et al.*, 2007)با بررسی اثر تنش خشکی و نیتروژن بر گندم گـزارش نمودنـد که در سال اول و دوم، میانگین دمای سایه‌انداز گیاهـان تحـت تـنش خشکی نسبت به گیاهان با آبیاری معمول به‌ترتیب ۲/۷ و ۶/۵ درجـه سانتی‌گراد بیشتر بود. ایشان گزارش کردند که میانگین دمای پوشـش گیاهی تحت اثر سـطوح نیتـروژن قـرار گرفـت و بـا افـزایش میـزان نیتروژن، دمای پوشش گیاهی کاهش یافت. نتایج آزمایشی در بررسی اثر باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاهی و تنش خشکی بر کلزا نشان داد که کاربرد باکتری سودوموناس فلورسنس در محـیط تـنش، دمای پوشش گیاهی را معـادل ۰/۳۳ درجـه سـانتی‌گـراد کـاهش داد (Arvin *et al.*, 2018). نتایج آزمایش جهان و همکاران (Jahan *et al.*, 2009) نشان داد که تلقیح مایکوریزایی نسبت بـه شـاهد باعـث کاهش دمای پوشش گیاهی ذرت به میزان یک درجه سانتی‌گراد شد.

جدول ٦- مقایسه میانگین اثر مصرف باکتری محرک رشد گیاه برای ثبات حرارتی غشاء سلول، کاهش دمای کانوپی، طول دوره پر شدن دانه، تعداد دانه در متر مربع و وزن هزار دانه

Table 6- Mean comparison of the effect of plant growth promoting rhizobacteria for cell membrane thermostability, canopy temperature depression, grain filling duration, number of grains per square meter, and thousand-grain weight

باکتری محرک رشد گیاه Plant growth promoting rhizobacteria	ثبات حرارتی غشاء سلول Cell membrane thermostability (%)	Canopyکاهش دمای پوشش گیاهی temperature depression (°C)	طول دوره پر شدن دانه Grain filling duration (d)	تعداد دانه در متر مربع Number of grains per square meter
Inoculation تلقیح	69.60	8.56	46.03	15342.99
Non inoculation عدم تلقیح	66.56	8.22	45.61	13902.01
LSD(5%)	0.35	0.06	0.20	201.86

طول دوره کاشت تـا گلـدهی: براساس تجزیـه واریـانس؛ برهم‌کنش سه‌گانه تاریخ کاشت، مصرف تلفیقی کود نیتروژن بـا کـود کمپوست و باکتری محرک رشد بر صفت طول دوره کاشت تا گلدهی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسـه میـانگین برهم‌کنش تاریخ کاشت، مصرف تلفیقی کود نیتروژن با کود کمپوست و باکتری محرک رشد (جدول ۴) نشان داد که در تـاریخ کاشـت اول، بیشترین طول دوره کاشـت تـا گلـدهی (۱۰۲/۶۶ روز) و کمتـرین آن (۹۶/۳۳ روز) به‌ترتیب به تیمار ۱۰۰ درصد مصـرف کـود نیتـروژن بـا کاربرد باکتری محرک رشـد و شـاهد و عـدم کـاربرد بـاکتری تعلـق گرفت. در تاریخ کاشت دوم، بیشترین طـول دوره کاشـت تـا گلـدهی (۹۲/۶۶ روز) به تیمار ۱۰۰ درصـد مصـرف کـود نیتـروژن بـا کـاربرد باکتری محرک رشد و کمترین مقدار آن (۸۶/۶۶ روز) به شاهد و عدم کاربرد باکتری تعلق گرفت. در تاریخ کاشت سوم، بیشترین طول دوره کاشت تا گلدهی (۸۸/۰۰ روز) و کمتـرین آن (۷۸/۳۳ روز) بـه‌ترتیـب

مربوط به تیمار مصرف ۱۰۰ درصد کود نیتروژن با کاربرد باکتری محرک رشد و شاهد و عدم کاربرد باکتری بود. به‌طور کلی با تاخیر در کاشت، تعداد روز از کاشت تا گلدهی کاهش یافت به طوری‌که بیشترین مقدار آن مربوط به تاریخ کاشت اول و کمترین آن متعلق به تاریخ کاشت سوم بود. تنش گرما با تسریع مراحل رشدی و همچنین تامین درجه روز رشد در یک بازه زمانی کوتاه‌تر، سبب کاهش تعداد روز تا گلدهی می‌شود (Rezaizadeh, Mohammadi, Siapoosh, & Ahmadi, 2020). رادمهر و همکاران (Radmehr *et al*., 2005) با بررسی اثر سه تاریخ کاشت ۱۴ آبان، ۱۵ آذر و ۲۱ دی بر چهار رقم گندم (فونگ، چمران، داو و استار) گزارش کردند که با تاخیر در کاشت، طول دوره‌های رشد و نمو از جمله تعداد روز از کاشت تا گرده‌افشانی، گرده‌افشانی تا رسیدگی فیزیولوژیک و کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک کاهش یافتند. نتایج به‌دست‌آمده از این آزمایش حاکی از آن است که در هر سه تاریخ کاشت، افزایش مصرف کود نیتروژن سبب افزایش طول دوره کاشت تا گلدهی شد. آشنا و همکاران (Ashna *et al*., 2015) در بررسی اثر تاریخ کاشت و نیتروژن بر مراحل نموی ارقام گندم گزارش دادند که افزایش مقدار مصرف کود نیتروژن منجر به افزایش طول مراحل نموی (به غیر از مرحله گرده‌افشانی تا رسیدگی) گردید. افزایش طول دوره نمو تحت اثر افزایش کود نیتروژن توسط (Lloyd, Webb, Archer, & Bradly, 1997) نیز گزارش شده است. در رابطه با اثر باکتری‌های محرک رشد بر این صفت می‌توان بیان کرد که احتمالا کاربرد نیتروکسین به دلیل افزایش فراهمی و جذب عناصر غذایی مختلف به‌خصوص نیتروژن توسط گیاه و تشدید فعالیت آنزیم‌ها و هورمون‌های رشد؛ میزان رشد رویشی و طول دوره کاشت تا گلدهی گیاه را افزایش داد.

طول دوره پر شدن دانه: تجزیه واریانس نشان داد که اثر تاریخ کاشت، کاربرد تلفیقی کود نیتروژن با کود کمپوست و باکتری محرک رشد بر طول دوره پر شدن دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین نشان‌دهنده طولانی‌تر بودن این دوره در تاریخ کاشت اول و کمتر شدن این دوره برای تاریخ‌های کاشت بعدی بود. به طوری‌که بیشترین طول دوره پر شدن دانه (۵۳/۶۹ روز) در تاریخ کاشت اول و کمترین آن (۳۸/۸۶ روز) در تاریخ کاشت سوم حاصل شد (جدول ۷). طول دوره پر شدن دانه به میزان مواد پرورده، ظرفیت مخزن برای دریافت مواد پرورده و دمای محیط وابسته است (Modhej & Fathi, 2008). مشتطی و همکاران (Moshatati, Siadat, Alami Saeed, Bakhshande, & Jalal Kamali, 2019) با بررسی اثر تنش گرما بر گندم گزارش کردند که طول دوره پر شدن دانه در تاریخ کاشت ۱۵ آبان (حدود ۵۰ روز) نسبت به تاریخ‌های کاشت بعدی بیشتر بود و با تاخیر در کاشت، به‌تدریج کاهش یافت، به‌طوری‌که در تاریخ کاشت آخر (۱۵ بهمن)، با حدود ۴۰ درصد کاهش به حدود ۳۰ روز رسید. آلتنباخ و همکاران (Altenbach *et al*., 2003) گزارش کردند که تنش گرمای آخر فصل سبب کوتاه شدن طول دوره پر شدن دانه گندم شد. در مطالعه دیگری زاهدی و همکاران (Zahedi, Sharma, & Jenner, 2003) نشان دادند که با افزایش میانگین دما طی دوره بعد از گرده‌افشانی از ۲۰/۱۵ درجه سانتی‌گراد به ۳۰/۲۵ درجه سانتی‌گراد، طول دوره پر شدن دانه‌ها از ۶۲ تا ۲۳ روز در دو رقم گندم کاهش یافت. نتایج مقایسه میانگین اثر مصرف تلفیقی کود نیتروژن و کود کمپوست برای این صفت نشان داد که بیشترین طول دوره پر شدن دانه (۴۷/۵۰ روز) و کمترین آن (۴۳/۶۶ روز) به‌ترتیب به تیمار مصرف تلفیقی ۵۰ درصد نیتروژن+ ۵۰ درصد کمپوست و شاهد تعلق گرفت (جدول ۸). نتایج آزمایش صافی و همکاران (Safi *et al*., 2022) نشان داد که بیشترین طول دوره پر شدن دانه تریتیکاله (۲۶/۵ روز) در شرایط مصرف ۴۰ تن در هکتار کود کمپوست بقایای نیشکر و کمترین آن (۲۵/۳ روز) در شرایط عدم مصرف کود کمپوست به‌دست آمد. حیدری سیاه خلکی و همکاران (Heydari Siah Khalki, Seyed Sharifi, & Sedghi, 2012) گزارش کردند که در استفاده از سطح اول تقسیط کودی، مقدار نیتروژن بیشتری در اختیار گیاه قرار گرفت که نتیجه آن مصرف نیتروژن توسط گیاه و افزایش میزان اسیمیلاسیون و در نهایت بالا رفتن نقل و انتقال مواد به دانه است که می‌تواند طول دوره پر شدن دانه گندم را افزایش دهد. همچنین در رابطه با اثر باکتری محری رشد، بیشترین طول دوره پر شدن دانه (۴۶/۰۳ روز) و کمترین آن (۴۵/۶۱ روز)، به‌ترتیب به کاربرد و عدم کاربرد باکتری محرک رشد تعلق گرفت (جدول ۶). در رابطه با اثر باکتری محرک رشد بر طول دوره پر شدن دانه، احتمالا کاربرد باکتری‌های محرک رشد با تامین عناصر غذایی و تولید مواد تحریک‌کننده رشد، امکان تداوم بیشتر طول دوره پر شدن دانه را فراهم کرده است.

طول دوره کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک: براساس تجزیه واریانس؛ اثر تاریخ کاشت و مصرف تلفیقی کود نیتروژن با کود کمپوست بر طول دوره کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر تاریخ کاشت بر طول دوره کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک (جدول ۷) نشان داد که بیشترین طول این دوره (۱۵۲/۳۸ روز) مربوط به تاریخ کاشت اول و کمترین مقدار آن (۱۲۲/۰۲ روز) به تاریخ کاشت سوم تعلق داشت. تنش گرمای آخر فصل، با اثر بر طول دوره پر شدن دانه، تعداد روز از کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک گندم را کاهش داد. نتایج آزمایش مشتطی و همکاران (Moshatati *et al*., 2019) نشان داد که تاخیر در کاشت، تعداد روز از کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک را کاهش داد. به طوری که بیشترین مقدار این صفت مربوط به تاریخ کاشت اول و کمترین آن مربوط به تاریخ کاشت آخر بود. نتایج پژوهش دیگری نشان داد که در کشت تاخیری، طول دوره رشد و نمو

ارقام مختلف گندم کاهش یافت (Hosseini, Galeshi, Soltani, & Kalateh, 2012). نتایج مقایسه میانگین اثر مصرف تلفیقی کود نیتروژن با کود کمپوست نشان داد که بیشترین طول دوره کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک (۱۴۰/۷۲ روز) به تیمار ۱۰۰ درصد شیمیایی و کمترین مقدار آن (۱۲۹/۸۳ روز) به تیمار ۱۰۰ درصد کود کمپوست تعلق گرفت (جدول ۸). آشنا و همکاران (Ashna *et al*., 2015) با بررسی اثر تاریخ کاشت و نیتروژن بر مراحل نموی ارقام گندم و رابطه آن با عملکرد و اجزای عملکرد گزارش دادند که افزایش مصرف کود نیتروژن منجر به افزایش طول مراحل نموی (به‌غیر از مرحله گرده‌افشانی تا رسیدگی) شد و بیشترین طول مرحله کاشت تا رسیدگی در تیمار کاربرد ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره و کمترین طول مرحله کاشت تا رسیدگی در شاهد بود. به‌طور کلی تاخیر در کاشت باعث تسریع مراحل نموی و کاهش طول دوره‌های رشد و نمو می‌شود و افزایش مصرف کود نیتروژن منجر به افزایش رشد رویشی و در نتیجه افزایش طول دوره‌های رشد و نمو می‌گردد (Shahsawari & Saffari, 2005).

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر تاریخ کاشت برای طول دوره پر شدن دانه و طول دوره کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک

Table 7- Mean comparison of the effect of sowing date for grain filling duration and the length of the sowing to physiological maturity

تاریخ کاشت Sowing date (SD)	طول دوره پر شدن دانه Grain filling duration (d)	طول دوره کاشت تا رسیدگی فیزیولوزیک Sowing to maturity (d)
۱ آذر 22 Nov.	53.69	152.38
۲۰ آذر 11 Dec.	44.91	134.25
۱۰ دی 31 Dec.	38.86	122.02
LSD (5%)	0.84	3.90

سرعت پر شدن دانه: تجزیه واریانس نشان داد که برهم‌کنش تاریخ کاشت و مصرف تلفیقی کود نیتروژن با کود کمپوست، برهم‌کنش تاریخ کاشت و باکتری محرک رشد و برهم‌کنش مصرف تلفیقی کود نیتروژن با کود کمپوست و باکتری محرک رشد بر سرعت پر شدن دانه معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش تاریخ کاشت و مصرف تلفیقی کود نیتروژن با کود کمپوست برای صفت سرعت پر شدن دانه (جدول ۵) نشان داد که در تاریخ کاشت اول، بیشترین مقدار این صفت (۰/۸۵ میلی‌گرم در روز) از مصرف تلفیقی ۵۰ درصد نیتروژن+ ۵۰ درصد کمپوست و کمترین مقدار آن (۰/۷۴ میلی‌گرم در روز) از شاهد حاصل شد. در تاریخ کاشت دوم، بیشترین مقدار این صفت (۰/۹۷ میلی‌گرم در روز) در مصرف تلفیقی ۵۰ درصد نیتروژن+ ۵۰ درصد کمپوست و کمترین مقدار آن (۰/۸۲ میلی‌گرم در روز) به شاهد مربوط بود. همچنین در تاریخ کاشت سوم، بیشترین و کمترین مقدار سرعت پر شدن دانه (۱/۰۳ و ۰/۸۲ میلی‌گرم در روز) به‌ترتیب به تیمار مصرف تلفیقی ۵۰ درصد نیتروژن+ ۵۰ درصد کمپوست و مصرف تلفیقی ۲۵ درصد نیتروژن+ ۷۵ درصد کمپوست مربوط بود. با تاخیر در کاشت، سرعت پر شدن دانه افزایش یافت. به عبارت دیگر سرعت پر شدن تاریخ کاشت اول (۱ آذر) در مقایسه با تاریخ‌های کشت تاخیری کمتر بود. به نظر می‌رسد که درجه حرارت‌های بالاتر در طی مراحل انتهایی رشد، موجب کاهش طول دوره پر شدن و افزایش سرعت پر شدن دانه شده است (Kamran Ghojeh Bglo, Javanshir, Syed Sharifi, & Farhosh, 2012). مدحج و همکاران (Modhej, Naderi, & Siadat, 2007) گزارش کردند که با تاخیر در کاشت و افزایش میانگین دمای مرحله پر شدن دانه از ۲۱ به ۲۷ درجه سانتی‌گراد، سرعت پر شدن دانه گندم از ۱/۸ به ۱/۶ میلی‌گرم در روز در دانه و مدت پر شدن دانه از ۳۲ به ۲۶ روز کاهش یافت. همچنین به نظر می‌رسد که دلیل سرعت زیاد پر شدن دانه‌ها در تیمار مصرف تلفیقی ۵۰ درصد نیتروژن+ ۵۰ درصد کمپوست، دسترسی مناسب به کود نیتروژن دار در طول دوره رشد بوده که سطح برگ بوته‌ها به‌خصوص برگ پرچم، میزان کلروفیل و آنزیم‌های فتوسنتزی را تحت تاثیر قرار داده و باعث افزایش فتوسنتز جاری، مواد فتوسنتزی منتقل شده به دانه و افزایش سرعت پر شدن دانه شده است. عباسپور و همکاران (Abbaspour, 2013) اظهار داشتند که کاربرد باکتری محرک رشد از طریق افزایش میزان آسیمیلاسیون، موجب بهبود نقل و انتقال مواد به دانه شده و سرعت پر شدن دانه افزایش می‌یابد. علت زیادتر بودن سرعت پر شدن دانه در تیمارهای تلقیح با باکتری‌های افزاینده رشد را می‌توان به غلظت بالای عناصر غذایی به‌خصوص نیتروژن برگ در طی مرحله پر شدن دانه نسبت داد (Naseri, Barary Zarea, Khavazi, & Tahmasebi, 2017).

تعداد دانه در متر مربع: براساس تجزیه واریانس؛ اثر اصلی تاریخ کاشت، مصرف تلفیقی کود نیتروژن با کود کمپوست و باکتری محرک رشد و همچنین برهم‌کنش تاریخ کاشت و مصرف تلفیقی کود نیتروژن با کود کمپوست بر تعداد دانه در متر مربع در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین برهم‌کنش تاریخ کاشت و مصرف تلفیقی کود نیتروژن با کود کمپوست (جدول ۵)

نشان داد که در تاریخ کاشت اول، بیشترین تعداد دانـه در متـر مربـع (۲۵۴۹۹/۳) و کمترین مقدار آن (۱۲۴۸۵/۵) به‌ترتیب به تیمار مصرف تلفیقی ۵۰ درصد نیتروژن+ ۵۰ درصد کمپوست و شاهد عدم مصـرف نیتروژن و کمپوست حاصل شد.

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر مصرف تلفیقی کود نیتروژن با کود کمپوست بر طول دوره پر شدن دانه و طول دوره کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک

Table 8- Mean comparison of the effect of combined use of nitrogen fertilizer with compost fertilizer on the grain filling duration and the length of the sowing to physiological maturity

مصرف تلفیقی کود نیتروژن با کود کمپوست Combined use of nitrogen fertilizer with compost fertilizer	طول دوره پر شدن دانه Grain filling duration (d)	طول دوره کاشت تا رسیدگی فیزیولوزیک Sowing to maturity (d)
شاهد (F1) Control	43.66	132.72
۱۰۰ درصد نیتروژن (F2) 100% nitrogen (F2)	46.44	140.72
۷۵ درصد نیتروژن+ ۲۵ درصد کمپوست (F3) 75% nitrogen+ 25% compost (F3)	46.66	140.05
۵۰ درصد نیتروژن+ ۵۰ درصد کمپوست (F4) 50% nitrogen+ 50% compost (F4)	47.50	138.61
۲۵ درصد نیتروژن+ ۷۵ درصد کمپوست (F5) 25% nitrogen+ 75% compost (F5)44.	46.50	135.38
۱۰۰ درصد کمپوست (F6) 100% compost (F6)	44.16	129.83
LSD (5%)	0.36	3.55

در تاریخ کاشت دوم، بیشترین تعداد دانه در متر مربع (۲۱۳۳۱/۱) و کمترین میزان آن (۱۰۰۷۴/۶) از تیمار مصـرف تلفیقـی ۵۰ درصـد نیتروژن+ ۵۰ درصد کمپوست و شاهد حاصل شـد. در تـاریخ کاشت سوم، بیشترین تعداد دانه در متـر مربـع (۱۵۴۷۱/۴) از تیمـار مصـرف تلفیقی ۵۰ درصد نیتروژن+ ۵۰ درصد کمپوست و کمتـرین مقـدار آن (۶۳۸۸/۷) از شاهد به‌دست آمد. لـذا در تـاریخ‌هـای مختلـف کاشـت، مصرف تلفیقی ۵۰ درصد نیتروژن+ ۵۰ درصـد کمپوسـت نسـبت بـه شاهد عدم مصرف کود شیمیایی و آلی، باعـث افـزایش ۱۰۴ تـا ۱۴۲ درصدی تعداد دانه در متر مربع شد. با افزایش دما، دوام هـر یـک از دوره‌های رشد و نمو کاهش می‌یابـد، در نتیجـه تعـداد دانـه در واحـد سطح و وزن دانـه کـاهش یافـت (Acevedo, Nachit, & Ortiz-Ferrara, 1991). در آزمایشی با بررسی اثر مقادیر مختلـف نیتـروژن بر عملکرد ارقام گندم مشخص شد که اثر مقدار نیتروژن بر تعداد دانه معنی‌داری بود. به طوری که بیشترین و کمترین تعداد دانه به‌ترتیب از تیمار مصرف ۲۷۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره و تیمـار عـدم مصـرف کود به‌دست آمد (Hosseini *et al*., 2012). موسـویان و همکـاران (Mosavian, Akbari, Eisvand, Ismaili, & Moshatati, 2020) با بررسی اثر سطوح مختلـف نیتـروژن و روی بـر عملکـرد و اجزای عملکرد گندم رقم چمران در شرایط تنش گرمای آخر فصل در اهواز گزارش دادند که بیشترین تعداد دانه در متـر مربـع (۲۷۴۱۰) در تاریخ کاشت بهینه اول آذر و مصـرف ۲۲۵ و ۲۰ کیلـوگرم در هکتـار نیتروژن و روی حاصل شد در حالی کـه کمتـرین مقـدار ایـن صـفت (۵۴۹۵) در تاریخ کاشت آخر و عدم مصرف نیتـروژن و روی (شـاهد) به‌دست آمد. اثر نیتروژن بر کاهش اثـر تـنش گرمـا از طریـق بهبـود پتانسیل فتوسنتزی گیاه، افزایش سطح برگ و افزایش تعـداد دانـه در واحد سطح است به طوری که با افزایش مصرف نیتروژن، تعداد دانـه در واحد سطح ۵۲ درصد افزایش یافت. همچنین در رابطه بـا بـاکتری محرک رشد، کاربرد این باکتری‌ها باعث افزایش تعـداد دانـه در متـر مربع نسبت به شاهد شد. افزایش تعداد دانه در سنبله گندم بـا کـاربرد ریز جانداران مفیـد خـاک (Kordzangeneh & Marashi, 2018) و کاربرد همزمان باکتری‌های حل‌کننده فسفات و قارچهای مـایکوریزا (Saxena, Chandra, & Nain, 2013) نیـز گـزارش شـده اسـت. افزایش اجزای عملکرد را می‌توان به نقش موثر باکتری‌های محـرک رشد در تثبیت نیتروژن و رهاسازی آن در مراحل حساس نیـاز کـودی مرتبط دانست که موجب افزایش نیتـروژن قابـل مصـرف در مراحـل حساس رشدی می‌شود (James & Paulsen, 2004).

وزن هزار دانه: مقایسه میانگین بـرهم کـنش تـاریخ کاشـت و مصرف تلفیقی کود نیتروژن با کـود کمپوسـت بـرای وزن هـزار دانـه (جدول ۴) نشان داد که در هر سه تاریخ کاشـت اول (۱ آذر)، دوم (۲۰ آذر) و سوم (۱۰ دی)؛ بیشترین وزن هزار دانه در مصـرف تلفیقـی ۵۰ درصد نیتروژن+ ۵۰ درصد کمپوست و کمتـرین مقـدار آن در شـرایط شاهد عدم مصرف کـود نیتـروژن و کمپوسـت حاصـل شـد. مقایسـه میانگین اثر باکتری محرک رشد گیاه برای وزن هزار دانـه نشـان داد که مصرف این باکتری نسبت به عدم کاربرد آن، باعـث افـزایش وزن هزار دانه شد (جدول ۵). وزن نهایی دانه تابعی از سرعت و طول دوره

پر شدن دانه است که این دو عامل تحت اثر تاخیر در کاشت نقصان یافته و موجب کاهش وزن هزار دانه می‌گردد (Kalate-Arabi, Sheikh, Souqi, & Hivechi, 2011). با مصرف کود کمپوست، خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک بهبود یافته و موجب رشد بهتر گیاه شده و مواد فتوسنتزی بیشتری تولید شده و به سمت دانه‌ها منتقل می‌شود. همچنین با توجه به فراهمی بیشتر رطوبت خاک، طول دوره پر شدن دانه و در نتیجه وزن هزار دانه افزایش می‌یابد. در بررسی انجام گرفته توسط قنبری و همکاران (۲۰۱۲) نیز کاهش وزن هزار دانه به علت تاخیر در کاشت گزارش شده است (Ghanbari, Roshani, & Tavassoli, 2012). در آزمایشی طی ارزیابی اثر مقادیر کمپوست نیشکر و نیتروژن بر عملکرد ذرت دانه‌ای بیان شد که با افزایش مصرف کمپوست نیشکر، وزن هزار دانه ذرت افزایش یافت (Zadeh-Omidi & Marashi, 2019). نتایج تحقیقات عابدی و همکاران (۲۰۱۰) نشان داد که با کاربرد تلفیقی کود نیتروژن و کمپوست زباله شهری، وزن هزار دانه گندم افزایش یافت (Abedi, Alemzadeh, & Kazemeini, 2010).

عملکرد دانه: عملکرد دانه مهم‌ترین هدف از کشت یک گیاه زراعی است که در اثر وقوع انواع تنش‌های زنده و غیرزنده کاهش می‌یابد. تجزیه واریانس داده‌های عملکرد دانه، حاکی از وجود برهم‌کنش معنی‌دار بین عامل‌های تاریخ کاشت و مصرف تلفیقی کود نیتروژن و کود کمپوست با باکتری محرک رشد در سطح احتمال پنج درصد بود (جدول ۳). براساس جدول مقایسه میانگین داده‌ها به روش برش‌دهی فیزیکی (جدول ۴)، در تاریخ کاشت اول، دوم و سوم به‌ترتیب بیشترین عملکرد دانه (۵۸۶۴/۴۰، ۴۸۷۳/۸۳ و ۳۷۲۳/۳۲ کیلوگرم در هکتار) و کمترین مقدار آن (۲۷۰۵/۶۳، ۲۰۶۶/۶۰ و ۱۱۱۵/۸۳ کیلوگرم در هکتار) به‌ترتیب مربوط به تیمار مصرف تلفیقی ۵۰ درصد نیتروژن+ ۵۰ درصد کمپوست با کاربرد باکتری محرک رشد و شاهد بود. لذا در تاریخ‌های مختلف کاشت، مصرف تلفیقی ۵۰ درصد نیتروژن+ ۵۰ درصد کمپوست نسبت به شاهد عدم مصرف کود شیمیایی و آلی، باعث افزایش ۱۱۳ تا ۱۳۵ درصدی عملکرد دانه شد. کوتاه شدن طول دوره رویشی، کاهش رشد اندام‌های فتوسنتزکننده و ضعیف شدن مبداء و کاهش طول دوره بحرانی تعیین تعداد دانه در سنبله (از مرحله برجستگی دوگانه تا گرده‌افشانی) و ضعیف شدن مقصد از پیامدهای تاخیر کاشت است. علاوه بر این، به دلیل برخورد مراحل گرده‌افشانی و پر شدن دانه با تنش گرمای انتهای فصل، تعداد و وزن دانه‌ها کاهش یافته و در مجموع عملکرد دانه کاهش می‌یابد (Mojtabaie Zamani, Nabipour, & Meskarbashee, 2014). براساس نتایج آزمایش سیاحی و کمایی (Sayahi & Kamaei, 2017)، تاخیر در کاشت و وقوع تنش گرمایی آخر فصل باعث کاهش عملکرد دانه گندم گردید. احتمالا کاربرد تلفیقی کود شیمیایی نیتروژن و کود آلی کمپوست بقایای نیشکر، با بهبود شرایط تغذیه‌ای و فراهمی عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و غیره، باعث افزایش رشد و اجزای عملکرد و در نتیجه عملکرد دانه شده است. در پژوهشی با بررسی اثر کمپوست بر رشد و عملکرد ذرت بیان شد که کاربرد کود کمپوست منجر به افزایش عملکرد دانه ذرت شد (Shirkhani *et al*., 2019). گودا (Goda, 2019) گزارش داد که استفاده معقول از ترکیب کود کمپوست و کود معدنی (براساس ترکیب شیمیایی آن‌ها) می‌تواند نتایج مشابه کاربرد فقط کودهای شیمیایی داشته باشد. کاربرد کود کمپوست غنی‌شده با کودهای شیمیایی باعث می‌شود که کود کمپوست از تلفات عناصر غذایی جلوگیری کرده (بهبود کارایی جذب عناصر غذایی) که نتیجه آن بهبود بهره‌وری تولید (عملکرد دانه) گیاه گندم و همچنین بهبود سلامت محیط زراعی خواهد بود. گزارش شده که کاربرد کمپوست همراه با کود زیستی *ازتوباکتر*، عملکرد دانه و میزان پروتئین دانه گندم نسبت به شاهد (بدون کاربرد کمپوست) را افزایش داد (Mohamad *et al*., 2019). تلقیح با باکتری *آزوسپیریلوم* منجر به افزایش میزان ماده خشک گندم، افزایش محتوی نیتروژن گیاه، افزایش میزان عملکرد دانه و وزن دانه گردید (Karimi, Goltapeh, Amini, Mehnaz, & Zarea, 2021). علت بهبود رشد و عملکرد دانه را نمی‌توان به توانایی این باکتری در تثبیت نیتروژن محدود نمود بلکه سایر اثرات این باکتری مانند افزایش جذب آب و عناصر غذایی توسط گیاه که ناشی از گسترش سیستم ریشه گیاه توسط این باکتری است را نیز می‌توان نام برد. همچنین برخی از سویه‌های این باکتری توانایی تولید هورمون‌های رشد مانند اکسین را دارند که این هورمون تولیدی قادر به توسعه ریشه است (Karimi *et al*., 2018). باکتری‌هایی همچون *ازتوباکتر*، *سودموناس* و *آزوسپیریلوم* با داشتن خاصیت تثبیت‌کنندگی نیتروژن، حل‌کنندگی فسفر و تولید برخی ویتامین‌ها، جذب آب و عناصر غذایی را برای گیاه تسهیل نموده، لذا تلقیح بذر با این باکتری‌ها موجب افزایش عملکرد گیاه می‌شود (Bilal, Ayub, Tariq, Tahir, & Nadeem, 2017). محققان ثابت کردند که دلیل افزایش عملکرد در تیمارهای تلفیقی، به دلیل مطابقت بیشتر بین نیتروژن قابل‌دسترس خاک با نیازهای گیاه در مراحل مختلف، تداوم فرآیند معدنی شدن نیتروژن در مراحل زایشی و ادامه فرایند جذب تا مدت زمان طولانی‌تر می‌باشد (Wei *et al*., 2016). به‌طور کلی کاربرد ۵۰ درصد نیتروژن+ ۵۰ درصد کمپوست و باکتری محرک رشد؛ با بهبود شرایط فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک و تامین عناصر غذایی مورد نیاز رشد و نمو گیاه، باعث افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گندم شد.

همبستگی بین صفات: ضرایب همبستگی بین صفات اندازه‌گیری شده در جدول ۹ نشان داد که محتوای نسبی آب برگ، کاهش دمای کانوپی و ثبات غشای سلول همبستگی مثبت و معنی‌داری داشتند اما این شاخص‌ها با سرعت پر شدن دانه همبستگی

منفی داشتند. طول دوره کاشت تا گلدهی با طول دوره پر شدن دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت. همچنین طول دوره کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک با طول دوره پر شدن دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت. وزیری و همکاران (Vaziri, Dadashi, Ajamnorozi, Afshin Soltani, Yarahmadi, 2022) گزارش کردند که صفات روز تا سنبله‌دهی، روز تا رسیدگی و طول دوره پر شدن دانه همبستگی مثبت و معنی‌دار داشتند. سرعت پر شدن دانه با محتوای نسبی آب برگ، ثبات حرارتی غشای سلول، کاهش دمای کانوپی، طول دوره کاشت تا گلدهی، طول دوره پر شدن دانه و طول دوره کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک همبستگی منفی داشت. سوقی و همکاران (Soqi, Taghi Feyzbakhsh, & Rezvantalab, 2020) نیز گزارش نمودند که همبستگی بین صفات سرعت پر شدن دانه و طول دوره پر شدن دانه ژنوتیپ‌های مختلف گندم منفی و معنی‌دار بود. عملکرد دانه نیز با دو جزء عملکرد دانه یعنی تعداد دانه در متر مربع و وزن هزار دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت که البته همبستگی آن با صفت تعداد دانه در متر مربع بیشتر از صفت وزن هزار دانه بود. آقایی سربرزه و امینی (Aghaee Sarbarzeh & Amini, 2011) همبستگی مثبت و معنی‌داری میان عملکرد دانه به‌عنوان جزء اقتصادی با صفات وزن هزار دانه و تعداد دانه در سنبله را گزارش دادند. با توجه به این‌که همبستگی این دو صفت با عملکرد مثبت است، می‌توان نتیجه گرفت که عوامل غیرمستقیم باعث ایجاد همبستگی شده است و باید مجموع عوامل اثرگذار را به‌طور همزمان مد نظر قرار داد و شرایطی را ایجاد نمود تا اثرات مستقیم حداکثر شوند. بنابراین گزینش این صفات می‌تواند منجر به افزایش عملکرد شود. البته این امر با توجه به نقش جبرانی این اجزا تا زمانی که تعادل بین مبداء و مقصد برقرار باشد، امکان‌پذیر است (Zeynali, Mirlohi, & Safaei, 2006).

جدول ۹- ضریب همبستگی بین صفات (n=۱۰۸)

Table 9- Correlation coefficient between traits (n=108)

Trait صفت	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Relative leaf water content (1)	1									
Cell membrane thermostability (2)	0.93**	1								
Canopy temperature of depression (3)	0.94**	0.93**	1							
Sowing to flowering (4)	0.67**	0.46**	0.61**	1						
Grain filling duration (5)	0.71**	0.54**	0.69**	0.96**	1					
Sowing to maturity (6)	0.58**	0.37**	0.55**	0.93**	0.93**	1				
Grain filling rate (7)	-0.35**	-0.26**	-0.34**	-0.36**	-0.44**	-0.37**	1			
Number of grains per square meter (8)	0.51**	0.41**	0.54**	0.77**	0.78**	0.73**	0.12ns	1		
1000-grain wight (9)	0.50**	0.39**	0.49**	0.76**	0.74**	0.71**	0.26**	0.94**	1	
Grain yield (10)	0.39**	0.28**	0.41**	0.71**	0.66**	0.66**	0.25**	0.94**	0.92**	1

ns و ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال خطای یک درصد

ns and ** are non-significant and significant at the level of one percent error probability

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج نشان داد که با تاخیر در کاشت، افزایش دمای محیط و وقوع تنش گرمای آخر فصل، صفات فیزیولوژیک مختلف، طول دوره‌های رشد و نمو و عملکرد و اجزای عملکرد دانه کاهش یافت. با این حال کاربرد تلفیقی نیتروژن و کمپوست نیشکر (به دلیل فراهمی بیشتر عناصر غذایی به‌ویژه تامین نیتروژن بیشتر در طول فصل رشد به دلیل آزادسازی تدریجی عناصر غذایی از کود آلی و بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک) و باکتری محرک رشد (به دلیل توسعه سیستم ریشه‌ای و دستیابی بهتر و بیشتر به آب و مواد غذایی)، باعث بهبود صفات فیزیولوژیک و عملکرد گندم شد. لذا با توجه به نتایج این آزمایش می‌توان نتیجه گرفت که در شرایط تنش گرمای انتهای فصل، مصرف تلفیقی کود نیتروژن+ کمپوست بقایای نیشکر و باکتری‌های محرک رشد گیاه ضمن تعدیل اثر تنش گرما، باعث بهبود صفات فیزیولوژیک و عملکرد دانه گندم شد.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از معاونت آموزشی و تحصیلات تکمیلی و معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان تشکر و قدردانی می‌شود.

References

1. Abbaspour, S. (2013). *The effect of nitrogen amount and seed priming with growth stimulating bacteria on yield and some agricultural characteristics of triticale*. Faculty of Agriculture. Mohaghegh Ardabili University,

Ardebil. (In Persian).
2. Abd El-Mageed, T. A., El-Samnoudi, I. M., Ibrahim, A. M., & Abd El Tawwab, A. R. (2018). Compost and mulching modulates morphological, physiological responses and water use efficiency in *Sorghum bicolor* L. Moench under low moisture regime. *Agricultural Water Management*, *208*, 431-439. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.06.042
3. Abedi, T., Alemzadeh, A., & Kazemeini, S. A. (2010). Effect of organic and inorganic fertilizer on grain yield and protein banding pattern of wheat. *Australian Journal of Crop Science*, *4*(6), 384-389.
4. Aberkane, H., Belkadi, B., Kehel, Z., Filali-Maltouf, A., Tahir, I. S. A., Meheesi, S., & Amri, A. (2021). Assessment of drought and heat tolerance of durum wheat lines derived from interspecific crosses using physiological parameters and stress indices. *Agronomy*, *11*(4), 659. https://doi.org/10.3390/agronomy11040695
5. Acevedo, E., Nachit, M., & Ortiz-Ferrara, G. (1991). *Effects of heat stress on wheat and possible selection tools for use in breeding for tolerance*. PP 401-421 in D. A. Saunders ed. Wheat for non-Traditional Warm Areas. CIMMYT, Mexico.
6. Ahmadi-Lahijani, M. J., & Emam, Y. (2013). Response of wheat genotypes to terminal drought stress using physiological indices. *Journal of Crop Production and Processing*, *3*(9), 163-176. (In Persian with English abstract).
7. Alikhani, H., & Sawaqabi, G. R. (2013). *Compost Production for Sustainable Agriculture*. Tehran University Press, Tehran. (In Persian).
8. Altenbach, S. B., DuPont, F. M., Kothari, K. M., Chan, R., Johnson, E. L., & Lieu, D. (2003) Temperature, water and fertilizer influence the timing of key events during grain development in a US spring wheat. *Journal of Cereal Science*, *37*(1), 9 -20. https://doi.org/10.1006/jcrs.2002.0483
9. Arvin, P., Vafabakhsh, J., & Mazaheri, D. (2018). Study of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and drought on physiological traits and final yield of cultivars of oilseed rape (*Brassica* spp. L.). *Journal of Agroecology*, *9*(4), 1208-1226. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jag.v8i1.53250
10. Ashna, M., Kafi, M., Jafar-Nejad, A., & Sharifi, M. R. (2015). Investigating the effect of planting and nitrogen on the developmental stages of wheat cultivars and its relationship with yield and yield components in Neishabur region. *Crop production Journal*, *8*(4), 143-162. (In Persian with English abstract).
11. Aghaee Sarbarzeh, M., & Amini, A. (2011). Genetic variability for agronomic traits in bread wheat genotype collection of Iran. *Seed and Plant Improvement Journal*, 27(1), 581-589. (In Persian with English abstract).
12. Ahmadi Lahijani, M.J., & Imam, Y. (2013). Reaction of wheat genotypes to drought stress at the end of the season using physiological indicators. *Journal of production and processing of agricultural and horticultural products. 3*(9), 163-176. (In Persian with English abstract).
13. Arvin, P., Vafa bakhsh. J., & Mazaheri, D, (2018). Study of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and drought on physiological traits and ultimate yield of cultivars of oilseed rape (*Brassica spp* L.). *Journal of Agroecology*, *9*(4), 1208-1226. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jag.v9i4.61808
14. Bhattacharyya, P. N., & Jha, D. K. (2012). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, *28*, 1327-1350. https://doi.org/10.1007/s11274-011-0979-9
15. Bilal, M., Ayub, M., Tariq, M., Tahir, M., & Nadeem, M. A. (2017). Dry matter yield and forage quality traits of oat (*Avena sativa* L.) under integrative use of microbial and synthetic source of nitrogen. *Journal of Saudi Society of Agricultural Sciences*, *16*(3), 236-241. https://doi.org/10.1016/j.jssas.2015.08.002
16. Chauhan, M. K., Chaudhary, S., & Kumar, S. (2011). Life cycle assessment of sugar industry: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *15*(7), 3445-3453. https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.04.033
17. Davis, J. G., Westfall, D. G., Mortvedt, J. J., & Shanahan, J. F. (2002). Fertilizing winter wheat. *Agronomy Journal*, *84*, 1198-1203.
18. East, R. (2013). Microbiome: Soil science comes to life. *Nature*, *501*, 18-19.
19. Eisapournakhjiri, S., Ashuri, M., Sadeghi, D. M., Mohamadian Roshan, N., & Rezaei, M. (2022). The effect of drought stress and different levels of nitrogen fertilizer on morphological, physiological and material traits Total dryness in Hashemi and Gilane varieties of rice. *Environmentai Stresses in Crop Sciences*, *15*(2), 315-325. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22077/escs.2021.3819.1921
20. Esitken, A., Hilal, Y., Ercisli, S., Figen Donmez, M., Tyran, M., & Gunes, A. (2010). Effects of plant growth promoting bacteria (PGPB) on yield, growth and nutrient contents of organically grown strawberry. *Scientia Horticulturae*, *124*, 62-66. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.12.012
21. Eskandari, H. A., & Kamyar, K. (2016). Response of yield and source activity of wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars to post anthesis water deficit. *Environmental Stresses in Agricultural Sciences*, *9*(3), 303-306. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22077/escs.2016.420
22. FAO: Food and Agriculture Organization. (2014). FAOSTAT Production Statistics of Crops. Available: http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E
23. Gabhane, J., Prince William, S. P. M., Bidyadhar, R., Bhilawe, P., & Anand, D. (2012). Additives aided

composting of green waste: Effects on organic matter degradation, compost maturity, and quality of the finished compost. *Bioresource Technology*, *114*, 382-388. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.02.040
24. Ghanbari, A., Roshani, H., & Tavassoli, A. (2012). Effect of sowing date on some agronomic characteristics and seed yield of winter wheat cultivars. *Journal of Crop Ecophysiology*, *6*(2), 127-144. (In Persian with English abstract).
25. Goda, D. (2019). Response of wheat to integrated nutrient management. *Journal of Plant Science Research*, *6*(1), 183-189.
26. Hassanpour, J., & Zand, B. (2014). Effect of wheat (*Triticum aestivum* L.) seed inoculation with bio-fertilizers on reduction of drought stress damage. *Iranian Journal of Seed Sciences and Research*, *1*(2), 1-12. (In Persian with English abstract).
27. Heydari Siah Khalki, M. S., Seyed Sharifi, R., & Sedghi, M. (2012). The effect of seed inoculation with growth promoting bacteria (PGPR) and time of nitrogen fertilizer application on yield, speed and length of wheat grain filling period. *Journal of Seed Research (Seed Science and Technology)*, *2*(3), 64-78. (In Persian with English abstract).
28. Hosseini, R., Galeshi, S., Soltani, A., & Kalateh, M. (2012). The effect of nitrogen on yield and yield component in modern and old wheat cultivars. *Journal of Crop Production*, *4*(1), 187-199. (In Persian with English abstract).
29. Jahan, M., Koocheki, A., Ghorbani, R., Rejali, F., Aryayi, M., & Ebrahimi, E. (2009) .The effect of biological fertilizers application on some agroecological characteristics of corn under conventional and ecological cropping systems. *Iranian Agricultural Research Journal*, *7*(2), 390-375. (In Persian with English abstract).
30. James, E. H., & Paulsen, G. M. (2004). Nitrogen assimilation and protein synthesis in wheat seedlings as affected by mineral nutrition. *Plant Physiology*, *44*(5), 636-640. https://doi.org/10.1104/pp.44.5.636
31. Joudi, M., Ahmadi, A., Mohammadi, V., Abbasi, A., & Mohammadi, H. (2014). Genetic changes in agronomic and phenologic traits of iranian wheat cultivares in different environmental conditions. *Euphytica*, *196*, 237-249. https://doi.org/10.1007/s10681-013-1027-7
32. Kalate-Arabi, M., Sheikh, F., Souqi, H., & Hivechi, J. (2011). Effects of sowing date on grain yield and its components of two bread wheat (*Triticum aestivum* L.) J. *Seedling and Seed*, *2*(3), 285-296. (In Persian with English abstract).
33. Kamaei, H., Isvand, H. R., Daneshvar, M. E., & Nazarian, F. (2018). Investigating the effect of planting date, phosphate biofertilizer and zinc and boron foliar application on grain yield and some physiological and agronomic traits of wheat. *Plant Process and Function*, *8*(29), 59-73. (In Persian with English abstract).
34. Kamari, H., & Seyed Sharifi, R. (2015). The effect of seed inoculation with growth-promoting bacteria and foliar spraying with nano-zinc oxide on the yield, speed and filling period of triticale seeds. *Science and Techniques of Greenhouse Crops*, *6*(4), 141-154. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.18869/acadpub.ejgcst.6.4.141
35. Kamran Gooje Baglo, F., Javanshir, A., Syed Sharifi, R., & Farhosh, F. (2012). Evaluation of yield, speed and effective seed filling period of four varieties of barley (*Hordeum vulgaris* L.) in different planting dates. *Research Achivements for Field and Horticulture Crops*, *1*(2), 163-149. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/rafhc.2012.100126
36. Karimi, N., Goltapeh, E. M., Amini, J., Mehnaz, S., & Zarea, M. J. (2021). Effect of Azospirillum zeae and seed priming with zinc, manganese and auxin on growth and yield parameters of wheat under dryland farming. *Agricultural Research*, *10*, 44-55. https://doi.org/10.1007/s40003-020-00480-5
37. Karimi, N., Zarea, M. J., & Mehnaz, S. (2018). Endophytic Azospirillum for enhancement of growth and yield of wheat. *Environmental Sustainability*, *1*(2), 149-158. https://doi.org/10.1007/s42398-018-0014-2
38. Kim, Y. C., Glick, B. R., Bashan, Y., & Ryu, C. M. (2012). *Enhancement of plant drought tolerance by microbes*. PP 383-413 in Plant Responses to Drought Stress. Springer, Berlin. https://doi.org/10.1007/978-3-642-32653-0_15
39. Kordzangeneh, R., & Marashi, S. K. (2018). Studying the effects of combined application of chemical and biological fertilizers of potassium on yield and yield components of wheat (*Triticum aestivum* L.) under soil moisture shortage. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *11*(4), 863-872. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22077/escs.2018.935.1183
40. Lee, D. G., Ahsan, N., Lee, S. H., & Kang, K. Y. (2005). A proteomic approach in analyzing heat-responsive proteins in rice leaves. *Proteomics*, *7*(18), 3369-3383. https://doi.org/10.1002/pmic.200700266
41. Lloyd, A., Webb, J., Archer, J. R., & Bradly, R. S. (1997). Urea as a nitrogen fertilizer for cereals. *Journal of Agronomy Sciences*, *128*(3), 263-271. https://doi.org/10.1017/S0021859697004267
42. LotfAli-Ayeneh, G. A., Naderi, A., & Andarzian, B. (2013). *A Guide to Planting, Growing and Harvesting of Wheat in Khuzestan Province*. Khuzestan Agriculture and Natural Resources Research Center, Ahwaz. (In Persian).
43. Malakooti, M., & Homaee, M. (2004). *Fertility of Soil in Arid and Semiarid Areas (Problems and Solutions)*. Tarbiat Modares University Publications, Tehran. (In Persian).
44. Malihipoor, A., Esmaeilzade Moghadam, M., & Najafian, G. (2020). *Iranian Wheat Cultivars*. Ministry of

Agriculture Jahad, Tehran. (In Persian).
45. Mitra, R., & Bhatia, C. R. (2008). Bioenergetic cost of heat tolerance in wheat crop. *Current Science*, *94*(8), 1049-1053.
46. Modarresi, M., Mohammadi, V., Zali, A., & Mardi, M. (2010). Response of wheat yield and yield related traits to high temperature. *Cereal Research Communication*, *38*, 23-31. https://doi.org/10.1556/crc.38.2010.1.3
47. Modhej, A., Naderi, A., & Siadat, S. A. (2007). Effect of heat stress after anthesis on source limitation of wheat and barley cultivars. *Journal of Agricultural Science*, *13*, 393-403.
48. Modhej. A., & Fathi, Gh. (2008). *Wheat Physiology*. Islamic Azad University, Shooshtar Branch Press, Shooshtar. (In Persian).
49. Mohamad, M., Thalooth, A., Elewa, T., & Ahmed, A. (2019). Yield and nutrient status of wheat plants (Triticum aestivum) as affected by compost and biofertilizers under newly reclaimed soil. *Bulletin of National Research Center*, *43*, 31-39. https://doi.org/10.1186/s42269-019-0069-y
50. Mojtabaie Zamani, M., Nabipour, M., & Meskarbashee, M. (2014). Resposes of bread wheat genotypes to heat stress during grain filling period in Ahvaz conditions. *Journal of Plant Productions*, *37*(4), 119-130. (In Persian with English abstract).
51. Mosavian, S. N., Akbari, N., Eisvand, H. R., Ismaili, A., & Moshatati, A. (2020). Effect of different nitrogen and zinc levels on grain yield and yield components of wheat (*Triticum aestivum* L.) cv. Chamran under late season heat stress conditions in Ahvaz. *Scientific Journal of Crop Physiology*, *12*(46), 25-44. (In Persian with English abstract).
52. Moshatati, A., Siadat, S. A., Alami Saeed, Kh., Bakhshande, A. M., & Jalal Kamali, M. R. (2019). The effect of terminal heat stress on grain growth and quantitative and qualitative yield of spring bread wheat in Ahwaz. *Journal of Crop Production and Processing*, *8*(4), 45-57. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22077/escs.2017.355.1067
53. Naseri, R., Barary Zarea, M. J., Khavazi, K., & Tahmasebi, Z. (2017). Effect of plant growth promoting bacteria and Mycorrhizal fungi on growth and yield of wheat under dryland conditions. *Journal of Soil Biology*, *5*(1), 49-66. (In Persian with English abstract).
54. Nazeri, M. (2017). In developmental stages Changes and canopy temperature depression of bread wheat under different environmental conditions due to differential sowing dates. *Applied Research in Field Crops*, *30*(1), 18-32. (In Persian with English abstract).
55. Obidiegwu, J. E., Bryan, G. J., Jones, H. G., & Prashar, A. (2015). Coping with drought: stress and adaptive responses in potato and perspectives for improvement. *Frontiers in Plant Sciences*, *22*(6), 542. https://doi:10.3389/fpls.2015.00542
56. Prasad, S., Srivastava, A., Kumar, A., Tiwari, A., Singh, R. P., & Yadav, R. K. (2014). Identification of heat stress traits in wheat (*Triticum aestivum* L.) in the way of tagging major gene(s) for heat stress tolerant. *Plant Archives*, *14*(1), 465-468.
57. Radmehr, M., Ayeneh, Gh. A., & Mamaghani, R. (2005). Response of late, medium and early maturity bread wheat cultivars to different sowing dates. 1: Effect of sowing date on phonological, morphological and grain yield of four bread wheat cultivars. *Journal of Plant and Seed*, *21*, 175-189. (In Persian with English abstract).
58. Raei, Y., Eshaghi Sardroud, S. N., & Pirouz, A. (2013). The effect of chemical and biological fertilizers on the yield of fodder sorghum (*Sorghum bicolor* L.), Speedfeed cultivar, in different Chinas. *Journal of Agricultural Ecology*, *5*(3), 231-242. (In Persian with English abstract).
59. Reynolds, M. P., Orits-Monasterio, J. I., & Cnab, A. M. (2001). *Application of Physiology in Wheat Breeding*. Cimmyt, Mexico.
60. Rezaizadeh, A., Mohammadi, W. E., Siapoosh, M. R., & Ahmadi, A. (2020). The response of iranian spring wheat cultivars to heat stress at anthesis and grain filling stages. *Journal of Crop Breeding*, *12*(33), 102-109. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.29252/jcb.12.33.102
61. Ritchie, S.W., & Nguyen, H. T. (1990). Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in droght resistance. *Crop Science*, *30*, 105-111. https://doi.org/10.2135/cropsci1990.0011183x003000010025x
62. Rostami, M., Ahmadi, A., & Mohammadi, H. (2017). Effect of late season drought stress and foliar application of nitrogen on yield and some physiological traits of wheat (*Triticum turgidum* L. subsp. durum). *Journal of Plant Ecophysiology*, *9*(30), 1-12. (In Persian with English abstract).
63. Safi, S. N., Moshatati, A., Gharineh, M. H., & Khodaei Joghan, A. (2022). The response of physiologic and qualitative traits of triticale to sugarcane residue compost in drought stress condition. *Crop Production*, *15*(2), 53-74. (In Persian with English abstract). https://doi:10.22069/EJCP.2022.19356.2443
64. Sarikhani, M. R., & Amini, R. (2020). Biofertilizer in Sustainable Agriculture: Review on the Researches of Biofertilizers in Iran. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *30*(1), 329-365. (In Persian with English abstract).
65. Saxena, M. J., Chandra, S., & Nain, L. (2013). Synergistic effect of phosphate solubilizing rhizobacteria and

arbuscular mycorrhiza on growth and yield of wheat plants. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *13*(2), 511- 525. https://doi.org/10.4067/S0718-95162013005000040

66. Sayahi, S. S., & Kamaei, F. (2017). Evaluation of 38 varieties of bread wheat in heat stress tolerance is calculated based on the season of the untamed STI farm. *Journal of Agronomy and Plant Breeding*, *13*(3), 39-49. (In Persian with English abstract).
67. Shahnazari, M., Golkar, P., & Mirmohammady Maibody, A. M. (2018). Effects of drought stress on some agronomic and bio-physiological traits of *Trtiticum aestivum*, *Triticale*, and *Tritipyrum* genotypes. *Archive of Agronomy and Soil Sciences*, *64*(1), 140-155. https://doi.org/10.1080/03650340.2018.1472377
68. Shahsawari, N., & Saffari, M. (2005). The effect of different levels of nitrogen on the function and elements of the varieties of wheat in Kerman. *Journal of Pajouhesh and Sazandegi*, *18*(1), 82-87. (In Persian with English abstract).
69. Shirkhani, A, Nasralzadeh, S., & Zahtab Salmasi, S. (2019). The effect of biological and chemical fertilizers on the yield and quality of corn seeds under conditions of full irrigation and drought stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *12*(3), 781-791. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22077/escs.2018.542.1332
70. Soqi, H. A., Taghi Feyzbakhsh, M., & Rezvantalab, N. (2020). Evaluation of yield and grain filling rate of bread wheat promising lines (*Triticum aestivum* L.) to growth degree days (GDD). *Journal of Crop Science Research in Arid Regio*, *2*(1), 97-11. (In Persian with English abstract). https://doi:10.22034/csrar.2020.119140
71. Tatar, O., Bruck, H., & Asch, F. (2015). Photosynthesis and remobilization of dry matter in wheat as affected by progressive drought stress at stem elongation stage. *Journal of Agronomy and Crop Sciences*, *12*(2), 1-8. https://doi.org/10.1111/jac.12160
72. Tilling, A. K., O'Leary, G. J., Ferwerda, J. G., Jones, S. D., Fitzgerald, G. J., Rodriguez, D., & Belford, R. (2007). Remote sensing of nitrogen and water stress in wheat. *Field Crops Research*, *104*(1), 77-85. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2007.03.023
73. Ting, L. Z., Yang, J. Y., Drury, C. F., & Hoogenboom, G. (2015). Evaluation of the DSSAT-CSM for simulating yield and soil organic C and N of a long-term maize and wheat rotation experiment in the Loess Plateau of Northwestern China. *Agricultural Systems*, *135*, 90-104. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2014.12.006
74. Turan, M., Gulluce, M., Cacmakei, R., Ostas, T., & Sahin, F. (2010). The effect of PGPR strain on wheat yield and quality parameters. *World Congress of Soil Science*, Brisbane, Australia.
75. Valentovic, P., Luxoval, M., Kolarov, L., & Gasparikova, O. (2006). Effect of osmotic stress on compatible solutes content, membrane stability and water relation in two maize cultivars. *Plant, Soil and Environment*, *52*(4), 186-191. https://doi.org/10.17221/3364-pse
76. Vaziri, H., Dadashi, M. R., Ajamnorozi, H., Afshin Soltani, A., Yarahmadi, S. (2022). Effects of nitrogen rate and supplemental irrigation time on yield and agro-morphological traits of spring wheat. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *53*(1), 159-172. (In Persian with English abstract).
77. Wei, W., Yan, Y., Cao, J., Christie, P., Zhang, F., & Fan, M. (2016). Effects of combined application of organic amendments and fertilizers on crop yield and soil organic matter: An integrated analysis of long-term experiments. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, *225*, 86-92. https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.04.004
78. Wu, S. (2009). Enhanced phytoremediation of salt-impacted soils using plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR). Department of Biology, University of Waterloo, Ontario, Canada.
79. Zadeh-Omidi, F., & Marashi, S. K. (2019). Effect of amount of sugarcane compost and nitrogen on quantitative and qualitative yield of corn (*Zea mays* L.). *Journal of Plant Environmental Physiology*, *54*(14), 12-20. (In Persian with English abstract).
80. Zahedi, M., Sharma, R., & Jenner, F. C. (2003). Effect of high temperature on grain growth and on the methabolite and enzymes in the starch-synthesis pathway in the grains of two wheat cultivars differing in their responses to temperature. *Functional Plant Biology*, *30*(3), 291-300. https://doi:10.1071/FP02205
81. Zahir, Z. A., Arshad, M., & Frankenberger, W. T. (2003). Plant Growth Promoting Rhizobacteria: Applications and Perspectives In Agriculture. *Advances in Agronomy*, *81*, 97-168. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0065-2113(03)81003-9
82. Zeynali, H., Mirlohi, A. F., & Safaei, L. (2006). Evaluating the relationship of plant grain yield with yield components of sesame genotypes. *Journal of Agronomy and Crop Scirnce*, *2*, 1-9.